DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Elfter Jahrgang. 16. Februar 1923. Heft 7.

Die Streustrahlung bei der diagnostischen und therapeutischen Anwendung der Röntgenstrahlen.

Von Hans Küstner, Göttingen.

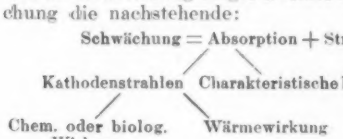
Im Jahre 1912 machte *Laue* die Entdeckung, daß es mit Hilfe von Kristallen möglich ist, Röntgenstrahlen spektral zu zerlegen, wie wir dieses beim sichtbaren Licht mit Hilfe von Prismen erreichen. Seitdem ist uns die lang gehegte Vermutung, daß Röntgenstrahlung nichts anderes ist als kurzwellige Lichtstrahlung, zur Gewißheit geworden. Die vom Radium ausgehende Wellenstrahlung ist nichts anderes als sehr harte Röntgenstrahlung. Die Röntgenstrahlen stellen also die kurzwelligste Ätherstrahlung dar, die wir kennen.

Dringt Röntgenstrahlung durch Materie, so wird sie geschwächt. Diese Schwächung setzt sich aus zwei Anteilen zusammen:

Schwächung = Absorption + Streuung.

Die Absorption. „Absorbiert" nennt man alle Röntgenstrahlung, die beim Durchgang durch Materie in andere Energieformen umgesetzt wird. Die absorbierte Röntgenenergie tritt *direkt* in zwei neuen Formen von Strahlung wieder zutage. Diese sind 1. die Kathodenstrahlen, jene kleinsten Partikelchen, auch Elektronen genannt, die wir in unseren Glühkathodenröhren in Reinkultur vor uns haben; und 2. die charakteristische Röntgenstrahlung.

Die Kathodenstrahlen setzen ihre Energie einerseits in chemische oder biologische Wirkung, anderseits in Wärmewirkung um. Wir erhalten also als Erweiterung obiger Formel für die Schwächung die nachstehende:



Wir haben also drei Arten von Strahlungen zu unterscheiden, die bei Durchdringung eines Mediums von Röntgenstrahlen auftreten, nämlich

Kathodenstrahlen;

charakteristische Röntgenstrahlen;

Streustrahlen.

Außerdem treten chemische oder biologische Wirkung und Wärmewirkung auf.

Von diesen Energieformen ist der in Wärmewirkung und charakteristische Röntgenstrahlung umgesetzte Energiebruchteil so klein, daß wir ihn vernachlässigen dürfen, was folgende Überschlagsrechnungen zeigen.

Die Wärmewirkung der Röntgenstrahlen. Würde bei Durchstrahlung eines Thorax[1]) sämtliche Röntgenenergie, die auf ihn auffällt, restlos in Wärme übergeführt, wovon auch nicht im entferntesten die Rede sein kann, so würde sich selbst bei unseren leistungsfähigsten Maschinen — 200 kV Spannung, 8 mA Röhrenstrom — der Thorax um weniger als $^1/_{1000}$° C pro Min. erwärmen. In Wirklichkeit ist die Erwärmung noch viel geringer. Eine Heilwirkung der Röntgenstrahlung durch Wärme, etwa wie wir sie bei Diathermie erzielen, ist also nicht zu erwarten. Wir können füglich die Wärmewirkung der Röntgenstrahlung überhaupt beiseite lassen.

Die charakteristische Röntgenstrahlung. Für den Prozentsatz der erregenden Strahlungsenergie, der in Form charakteristischer Strahlung wieder zutage tritt, hat *Glocker*[2]) ein Gesetz gefunden. Nach diesem berechnet sich, daß die in charakteristische Strahlung umgesetzte Energie für Calcium, das schwerste Element, das in wesentlichen Mengen im menschlichen Körper vorkommt, nur etwa 1 % der absorbierten Energie beträgt; das gilt für die weichsten in der Therapie angewendeten Strahlen, für die härteren ist der Prozentsatz geringer. Ebenso ist er noch geringer für die Elemente mit kleinerem Atomgewicht des menschlichen Körpers. Hieraus folgt, daß die charakteristische Strahlung im menschlichen Körper überhaupt keine Rolle spielt, und daß wir in der Praxis von ihr absehen dürfen.

Werfen wir noch einmal einen Blick auf unser oben aufgestelltes Schema der Energieumsetzung, so können wir unsere Betrachtungen dahin zusammenfassen:

Alle absorbierte Röntgenenergie wird restlos in andere Energieformen umgesetzt. Von diesen ist allein die chemische oder biologische Energieform therapeutisch wirksam. (Daß sich diese Umsetzung auf dem Umwege über die Kathodenstrahlen vollzieht, hat nur physikalische Bedeutung.) Die anderen Energieformen sind aus energetischen Gründen nicht ausreichend, um einen therapeutischen Einfluß ausüben zu können.

Die Streustrahlung. Wie wir eingangs erwähnten, ist Röntgenstrahlung nichts anderes als kurzwellige Lichtstrahlung. Wir machen von dieser Tatsache Gebrauch, indem wir uns die Grundvorgänge der Streuung an sichtbarem Licht klar machen.

Lassen wir ein ausgeblendetes, schmales Strahlenbündel sichtbaren Lichtes durch ein Glasgefäß

[1]) Thorax = Brustkorb.

[2]) *Glocker*, Phys. Z. *17*, 488, 1916. Vgl. auch *Schottky*, Phys. Z. *17*, 581, 1916.

fallen, das mit Wasser angefüllt ist, welches einige Tropfen Milch enthält, so beobachten wir, daß keineswegs allein der Weg des Lichtstrahls in der Flüssigkeit leuchtet, sondern daß das ganze Gefäß, also auch die nicht unmittelbar vom Lichte getroffenen Stellen, leuchten. Ein solches Medium, bei dem das der Fall ist, nennen wir ein „trübes Medium". Während diese Erscheinung für sichtbares Licht keineswegs allgemein eintritt, sind für Röntgenstrahlen alle Medien „trübe Medien", d. h. alle von Röntgenlicht getroffene Materie sendet Streustrahlung aus.

Diese Streustrahlung ist nun keineswegs eine andere Energieform als die Primärstrahlung, sie ist vielmehr nichts anderes als aus ihrer Bahn abgelenkte Primärstrahlung. Wir können uns das

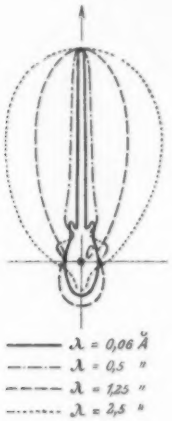


Fig. 1. Die räumliche Intensitätsverteilung der Streustrahlung beim Kohlenstoffatom, berechnet von *Glocker* und *Kaupp*.

ebenfalls sehr schön mit Hilfe sichtbaren Lichtes klarmachen. Lassen wir nacheinander (durch Vorschalten von bunten Filtern) rotes, gelbes, blaues, grünes, violettes Licht auf unser Glasgefäß mit verdünnter Milch fallen, so leuchtet die trübe Flüssigkeit stets in der Farbe des einfallenden Lichtes. Den verschiedenen Farben des sichtbaren Lichtes entsprechen aber verschiedene Härtegrade im Röntgengebiet: in der Tat ist auch die Härte oder Wellenlänge der zerstreuten Röntgenstrahlung genau gleich der Härte oder Wellenlänge der einfallenden Strahlung. Gerade aus diesem experimentell sichergestellten Befund schließen wir, daß die zerstreute Röntgenstrahlung nichts anderes ist als die aus ihrer Strahlrichtung abgelenkte, erregende Strahlung selbst.

Die Ausbreitung der Streustrahlung. Schon durch ältere Versuche von *Crowther*[3]) und von *Owen*[4]) wurde festgestellt, daß

1. die Intensität der Streustrahlung in Richtung senkrecht zur Primärstrahlung ein Minimum aufweist;

2. die Intensität derjenigen Streustrahlung, die in Richtung des Primärstrahls gestreut wird, größer ist als die Intensität der jenem entgegengesetzt gestreuten Strahlung.

Leider erscheint die Fragestellung dieser Versuche im Lichte unserer heutigen Anschauungen nicht mehr hinreichend eindeutig, um weitere Folgerungen aus ihnen zu ziehen. Fig. 1 zeigt die Ergebnisse einer Rechnung von *Glocker*[5]) und *Kaupp*[5]) für das Kohlenstoffatom als Sekundärstrahler, wenn die erregenden Wellenlängen 2,5; 1,25; 0,5; 0,06 Å betragen. Man sieht, daß obige Versuche durch die Theorie bestätigt werden: Der Abstand jedes Kurvenpunktes vom streuenden Atom C gibt die Intensität der Streustrahlung in dieser Richtung an; sie ist bei weitem am größten in Richtung der Primärstrahlung, am kleinsten nahezu senkrecht zur Primärstrahlung und etwas größer in Richtung auf die Lichtquelle zu, und zwar ist dieser Effekt um so stärker ausgeprägt, je härter die erregende Strahlung ist.

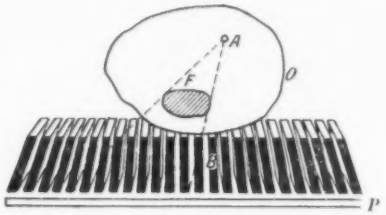


Fig. 2. Prinzip der ruhenden Buckyblende.

Dieser Umstand ist sehr wichtig für die Therapie. Denn wie die Kurven zeigen, ist bei harter Strahlung ein sehr großer Anteil der gestreuten Strahlung der Erregerstrahlung nahezu parallel.

Allerneueste Versuche von *Keesom* und *de Smedt*[6]) mit monochromatischem Röntgenlicht an Flüssigkeiten machen es nun wahrscheinlich, daß bei solchen außerdem ein Richtungseffekt der Streustrahlung besteht, der vom gegenseitigen Abstand der Moleküle herrührt. Er äußert sich im wesentlichen im gleichen Sinne wie der von *Glocker* und *Kaupp* berechnete.

Die Wirkungen der Streustrahlung in der Diagnostik und der Therapie.

1. Diagnostik.

Wird ein Objekt durchleuchtet, so wird in jedem Punkte desselben die Richtung der Röntgen-

[3]) *Crowther*, Proc. Roy. Soc. *85*, 29, 1911.
[4]) *Owen*, Proc. Cambr. Phil. Soc. *16*, 166, 1911.
[5]) *Glocker* und *Kaupp*, Ann. d. Phys. *64*, 541, 1921.
[6]) *Keesom* und *de Smedt*, Proc. Amst. *25*, 118, 1922.

strahlen abgelenkt. Außer der eigentlichen, punktförmigen Lichtquelle, nämlich dem Brennfleck des Röntgenrohres, haben wir also noch eine zweite, störende: den durchleuchteten Körper selbst. Gäbe es keine Streustrahlung, so würde der punktförmige Brennfleck einen scharfen Schattenriß des dichteren Mediums, z. B. des Knochens, liefern. In Wirklichkeit aber überlagern sich diesem scharfen Schattenriß zahllose andere, die von all den unendlich vielen Lichtquellen ausgehen, welche die Lichtbahn des primären Röntgenstrahls im Körper darstellt. Sie machen das Bild unscharf und verwaschen.

Ein Mittel, das Zustandekommen der Streustrahlen selbst zu unterdrücken, gibt es nicht. Wohl aber ist es möglich, diese auf ihrem Wege aufzuhalten: die ruhende oder bewegte Buckyblende.

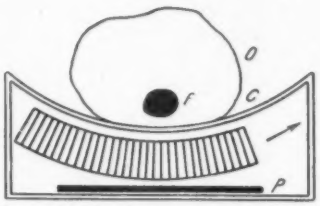


Fig. 3. Prinzip der bewegten Buckyblende.

Das Prinzip der Buckyblende erläutert Fig. 2. *L* sei der Brennfleck, *O* das Objekt, *F* ein Fremdkörper in diesem, *P* sei die Platte oder der Leuchtschirm. Zwischen *O* und *P* ist nun ein System von Bleiblechstreifen *B* angeordnet, die alle so gestellt sind, daß sie nur den direkt von der Lichtquelle *L* ausgehenden Strahlen den Durchgang gestatten. Alle Streustrahlung des Objektes, wie z. B. die vom Punkte *A* ausgehende, die bei Abwesenheit der Bleibleche *B* einen Schlagschatten des Fremdkörpers *F* auf der Platte *P* erzeugen würde, kann dank der Bleibleche nicht nach der Platte gelangen — es sei denn in einer Richtung, die derjenigen der Primärstrahlen parallel läuft. Im letzteren Falle addiert sich also die Wirkung der Streustrahlen nutzbringend zu der der Primären.

Bei der praktischen Ausführung der Buckyblende sind zwei Systeme derartiger Bleiblechstreifen kreuzweise angeordnet, um die Wirkung zweidimensional auszuüben. Aus diesem Grunde hat die Blende den Namen „Wabenblende" erhalten. Die Bleibleche zeichnen sich naturgemäß auf der Platte oder dem Leuchtschirm als rechtwinkliges Raster ab. Dieser geringe Nachteil wird indessen gegenüber der außerordentlichen Steigerung der Schärfe des Bildes vom Arzt gern in Kauf genommen; besonders bei Durchleuchtung mit dem Schirm spielt die Störung nur eine geringe Rolle, von der man sich durch eine geringe Verschiebung des Objektes oder Patienten *O* leicht weitgehend befreien kann. Die Buckyblende hat daher für die Durchleuchtung mit dem Schirm weiteste Verbreitung gefunden.

Demgegenüber erschien es wünschenswert, bei der Röntgenaufnahme, wo eine Verschiebung des Objektes gegen die Platte nicht angängig ist, die Abbildung des Rasters zu unterdrücken. *Bucky* löste in sehr glücklicher Weise diese Aufgabe durch Bewegung der Blende selbst während der Aufnahme. Zu diesem Zwecke mußte die Blende noch etwas umgestaltet werden. Solange nämlich die Blende aus einem Kreuzgitter besteht, ist es durch keinerlei Bewegung möglich, dasselbe vollkommen zum Verschwinden zu bringen. Aus diesem Grunde verwendete *Bucky* nur ein einfaches System von Bleiblechen, die, viel dichter als bei

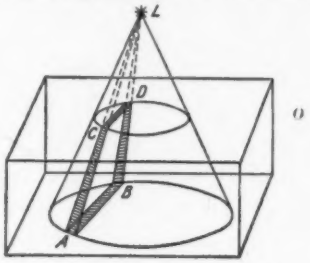


Fig. 4. Zur Wirkungsweise der Buckyblende.

der Wabenblende gelagert, auf einem runden Rahmen angeordnet sind (Fig. 3), der sich auf Schienen führbar durch einen Mechanismus einige Zentimeter weit konzentrisch um den Brennfleck *L* drehen läßt. Der Patient ruht während der Aufnahme auf einem gebogenen Lager *C* zwischen Röntgenrohr und Blende. *P* stellt die Platte dar.

Es könnte nun eingeworfen werden, daß die Streustrahlung hier ja nur in der einen Dimension, also unzureichend, unterdrückt wird, da das Gitter einfach, aber nicht gekreuzt ist. An Hand der Fig. 4 werden wir sehen, daß dieser Einfluß verschwindend klein ist. Ein kreisförmig ausgeblendetes Röntgenstrahlbündel durchsetze ein Objekt *O*. Das von den Primärstrahlen durchstrahlte Raumgebiet desselben ist ein Kegelstumpf. Wir betrachten nun einen schmalen Streifen $\overline{AB}$ am Boden. Da von jedem Punkte des Kegelstumpfs Streustrahlung ausgeht, so wird dem Streifen $\overline{AB}$ von allen Punkten des Kegelstumpfs aus Streustrahlung zugestrahlt. Durch zwei Bleibleche wird nun aber erreicht, daß der Streifen $\overline{AB}$ nur von solcher Streustrahlung getroffen wird, die aus dem Bereich *ABCD* herkommt. Da dieser Bereich aber durch *hin-*

reichend dichte Anordnung der Bleiblechstreifen praktisch beliebig klein gemacht werden kann im Vergleich zum Kegelstumpfvolumen, so ist offenbar durch die Anordnung einfacher, ungekreuzter Bleiblechstreifen die Streustrahlung bereits so weitgehend ausgeschaltet, daß durch kreuzweise Anordnung nur noch ein unwesentlicher Vorteil erzielt werden könnte.

Erklärung von Erscheinungen.

Mit Hilfe der Streustrahlung lassen sich eine Anzahl Erscheinungen erklären, von denen wir im folgenden zwei besprechen wollen.

a) Das Pneumoperitoneum. Wird von vorn her eine Aufnahme des Unterleibs gemacht, so erscheinen feinere Gebilde, wie z. B. der Darm, unscharf auf der Platte. Bläst man nun zwischen der Bauchdecke und den Darm Gas ein, ein Verfahren, das heute in der Medizin oft angewandt wird, hebt man also die fettreichen Massen der Bauchdecke von den dahinter liegenden feineren Gebilden ab, so zeichnen sich die letzteren auf der photographischen Platte schärfer ab. Mitbestimmend wirkt hier der Umstand, daß wir es hier nicht allein mit *einer* Lichtquelle zu tun haben, sondern mit zweien. Die eine ist die

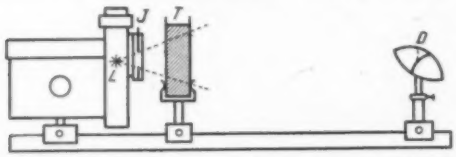


Fig. 5. Demonstrationsversuch zum Pneumoperitoneum nach *Küstner* und *Meyer*.

entfernte Antikathode der Röntgenröhre, die andere die den feinen Gebilden (Darm) unmittelbar benachbarte, sekundärstrahlende Bauchdecke. Die von ihr ausgehende Streustrahlung erzeugt auf der Platte Schlagschatten der feineren Gebilde und macht sie unkenntlich. Trennt man aber durch Gaseinblasen die störende Lichtquelle von den feineren Gebilden, so wird die Bildung der Schlagschatten vermindert und die Feinheit der Kontraste erhöht. Mit überraschender Deutlichkeit kann man das optisch demonstrieren[7]). Als Darm dient ein Stück aufgewickeltes, rotes Gelatinepapier *D* (Fig. 5). Bringt man es in den Lichtkegel einer Bogenlampe *L*, so erscheinen alle Ränder desselben in scharfem Kontrast auf dem Projektionsschirm. Stellt man nun zwischen die Bogenlampe und das Gelatinepapier einen planparallelen Glastrog *T*, der Wasser mit etwas Milch enthält, so dient dieser als Sekundärstrahler und kann die Bauchdecke ersetzen. Bringt man ihn in die Nähe der Bogenlampe, so stört er die Kontraste des Bildes nur wenig. Nähert man ihn aber um ein kleines Stück dem Gelatinepapier, so verschwinden die Kontraste vollständig: das Schattenbild des Darmes erscheint wie eine einfarbige Masse. Man kann sogar beim Hin- und Herschieben des Glastroges das Wandern der Schlagschatten beobachten.

b) Die Janusschen Randstreifen. Macht man eine Aufnahme eines für Röntgenstrahlen wenig durchlässigen Objektes, so erscheinen bisweilen die Randpartien seines Schattens auf der photographischen Platte schwach belichtet. Die Erscheinung wurde von *Janus*[8]) zweifellos richtig dahin gedeutet, daß diejenigen Röntgenstrahlen, die an dem der Röntgenplatte unmittelbar aufliegenden, Schatten spendenden Körper vorübergleiten, den Kassettenboden zum Sekundärstrahler machen, so daß dieser die von vorn unbelichteten Teile der Platte von hinten belichtet und schwärzt.

2. Therapie.

Wird menschliches Gewebe (oder ein Wasserphantom) von Röntgenstrahlen durchsetzt, so ist die absorbierte Energie maßgebend für die biologische Wirkung. Außer dieser absorbierten Primärstrahlung gelangt aber auch die im Körper selbst zerstreute Strahlung teilweise zur Absorption und trägt so zur Erhöhung der biologischen Wirkung bei. Der auf sie entfallende Anteil heißt *Streustrahlenzusatz*.

Fig. 6. Zur Erläuterung des Streustrahlungszusatzes.

Hinsichtlich der Verteilung dieser Streustrahlung müssen wir drei Fälle unterscheiden (Fig. 6):

a) Alle die Punkte, die axial im Strahlenkegel liegen. Jeder solche axial gelegene Punkt wird von links und rechts von gleichviel Streustrahlung getroffen; es herrscht Symmetrie.

b) Alle Punkte, die am Rande des Strahlenkegels liegen, empfangen zwar von ebenso viel Punkten aus Streustrahlung wie axial gelegene Punkte; aber die durchschnittliche Entfernung, aus der die Streustrahlung diesen Randpunkten zugestrahlt wird, ist größer als im Falle a), und deshalb ist die Intensität der Streustrahlen für Randpunkte geringer als für axial gelegene.

c) Alle Punkte, die außerhalb des Strahlenkegels liegen, empfangen zwar von ebenso viel Punkten aus Streustrahlung wie axial gelegene oder Randpunkte; aber die durchschnittliche Entfernung, aus der ihnen diese Streustrahlung zu-

[7]) *Küstner* und *Meyer*, Fortschr. a. d. Geb. d. R. Str. *29*, 551, 1922.

[8]) *Janus*, Fortschr. a. d. Geb. d. R. Str. *26*, 209, 1918.

gestrahlt wird, ist noch größer als bei den Randpunkten, und deshalb wird die Intensität der Streustrahlung in einem Punkte um so kleiner, je weiter dieser von dem Strahlenkegel entfernt liegt.

Je größer der Querschnitt eines Strahlenbündels ist, desto größer muß auch die Intensität sein, die irgendeinem Punkte innerhalb oder außerhalb des Strahlenkegels zugestreut wird; denn je größer der durchstrahlte Rauminhalt ist, desto zahlreicher sind die als Quellen von Streustrahlung anzusprechenden Punkte dieses Kegels, die einem anderen Punkte die Streustrahlung zustrahlen. Diese Tatsache sowie die Verteilung des Streustrahlungszusatzes innerhalb und außerhalb des bestrahlten Kegels bringen sehr schön die von *Friedrich* aufgenommenen Kurven zum Ausdruck (Fig. 7). *Friedrich* hat bei einem Einfallsfelde von 4×4, 8×8 und 12×12 cm² ein Wasserphantom durchstrahlt und die Intensität von der Mitte des durchstrahlten Gebietes bis zu

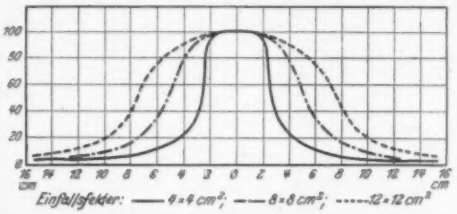


Fig. 7. Verteilung der Röntgenstrahlung infolge der Streustrahlung innerhalb und außerhalb des Strahlenkegels nach *Friedrich*.

einer Entfernung von 16 cm von dessen Mitte aus ionometrisch gemessen. Die Kurven zeigen deutlich, daß die Intensität in der Mitte des durchstrahlten Feldes am größten ist, nach dem Rande zu abfällt, und daß noch weit über die Grenzen des durchstrahlten Feldes hinaus gestreute Intensität ionometrisch nachweisbar ist. Auch zeigt sich, daß die Intensität derselben um so größer ist, je größer der Querschnitt (oder der Rauminhalt) des durchstrahlten Feldes ist.

Die Dosierung der Röntgenstrahlung bietet dem Arzte, eben wegen des Streustrahlungszusatzes, erhebliche Schwierigkeiten. Ein Fehlgriff ist hier um so verhängnisvoller, weil eine Unterdosierung leicht eine Reizdosis sein, d. h. das krankhafte Gewebe zum Wachstum anregen kann, während eine Überdosierung oft eine Verbrennung zur Folge hat. Dabei sind die zulässigen Grenzen keineswegs weit gezogen. Man hat daher verschiedene Hilfsmittel geschaffen, die dem Arzt über die Größe des Streustrahlungszusatzes je nach der verwendeten Größe des Einfallsfeldes und dem Volumen des Streustrahlungsbereichs Aufschluß geben sollen über die Gesamtintensität am Krankheitsherde.

Am einfachsten liegen die Dinge dort, wo es möglich ist, die Intensität der Strahlung am Krankheitsherd selbst zu messen. Diese Möglichkeit ist aber leider nur auf vereinzelte Fälle beschränkt. So läßt sich die Intensität z. B. beim weiblichen Ovar messen, indem man eine kleine Ionisierungskammer von Fingerhutgröße in die Scheide einführt, wie das *Friedrich* und *Krönig*[9]) angegeben haben. Ein Meßgerät, das mit solcher Ionisierungskammer ausgerüstet ist, ist z. B. das „Iontoquantimeter" von Reiniger, Gebbert & Schall und das „Röhrengalvanometer" von Siemens & Halske.

Schwieriger sind aber die Fälle, in denen man nicht am Krankheitsherde selbst messen kann. Man bedient sich dann sog. „Phantome". Wie wir später sehen werden, ist Wasser ein bequemes und gutes Phantom, weil die Absorptions- und Streuungsverhältnisse bei ihm denen des menschlichen Gewebes sehr nahe kommen. Man ersetzt den menschlichen Körper durch ein „Wasserphantom", d. h. ein mit Wasser gefülltes Gefäß, mißt mit der Fingerhutkammer an einer dem Krankheitsherde entsprechenden Stelle unter der Wasseroberfläche und überträgt die Meßergebnisse auf den menschlichen Körper unter der Annahme, daß man am Krankheitsherde dasselbe gemessen haben würde, wenn er der Messung zugänglich wäre.

Um dem Arzte die zeitraubende Phantommessung zu sparen, sind, besonders von *Dessauer*[10]), die Ergebnisse von Phantommessungen graphisch oder tabellarisch festgelegt worden. Die Übertragung der an einem fremden Instrumentarium, also unter anderen Bedingungen, aufgenommenen Daten auf das eigene bringt aber naturgemäß Fehlerquellen mit sich, die bei eigener Phantommessung ausgeschaltet sind.

Die Ausnutzung der Streustrahlung.

Es mögen noch zwei Fälle behandelt werden, in denen man versucht hat, aus der Streustrahlung Nutzen zu ziehen. Das ist:

1. der „Strahlensammler" von *Chaoul*. Es werden, z. B. bei einer Bestrahlung der weiblichen Brust, Paraffinmassen neben die Brust gebracht. Strahlen, die sonst ungenutzt neben der Brust vorübergegangen wären, werden so in Form von Streustrahlung der Brust zugeführt.

2. die „Konvergierung von Röntgenstrahlen" von *Rahm*[11]). Ein Streustrahler (Paraffinblock) im Verein mit einer Wabenblende besonderer Fertigung dient dazu, eine Linse, die es für Röntgenstrahlen nicht gibt, zu ersetzen und diese gleichsam wie in einem Brennpunkte am Krankheitsherde zu konzentrieren. Paraffinblock *P* und Wabenblende *B* werden zwischen Röntgenrohr *L* und Patienten geschaltet (Fig. 8). Der Paraffinblock *P* dient als Streustrahler und die Wabenblende *B* sorgt dafür, daß außer dem Zentralstrahl von der Primärstrahlung gar keine Strahlung, und von der Streustrahlung nur solche

[9]) *Friedrich* und *Krönig*, Physikalische u. biolog. Grundlagen der Strahlentherapie, Urban & Schwarzenberg, Berlin u. Wien 1918, S. 72 ff. u. 188 ff.

[10]) *Dessauer* und *Vierheller*, ZS. f. Phys. *4*, 131, 1921. *Dessauer* und *Warnekros*, Strahlentherapie *11*, 3, 1921.

[11]) *Rahm*, Klinische Wochenschr. *1* (H. 40), 1998, 1922.

wieder Austritt aus dem Paraffinblock findet, die nach dem „Brennpunkt" F gerichtet ist.

Quantitatives über Absorption und Streuung.

Unsere bisherigen Aussagen waren im wesentlichen qualitativer Natur. Es sind in neuerer Zeit aber Messungen über Absorption und Streuung vorgenommen worden, die uns die Grundlage für quantitative Schlußfolgerungen liefern. Alle diese Untersuchungen wurden an spektral zerlegtem, also streng monochromatischem Röntgenlicht ausgeführt; dies geschah von verschiedenen Autoren, nämlich *Richtmyer*[12]), *Hewlett*[13]) und *Duane* und *Mazumder*[14]), und zwar unabhängig von einander. Trotzdem ist die Übereinstimmung ihrer

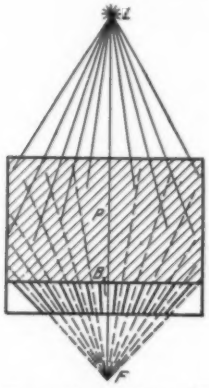


Fig. 8. „Konvergierung" von Röntgenstrahlen nach *Rahm*.

Ergebnisse so ausgezeichnet, daß man sie als Präzisionsmessungen ansprechen kann. Trägt man nämlich die Ergebnisse der verschiedenen Forscher in ein Raster ein, so liegen die Punkte alle ungezwungen auf glatten Kurven. Die Messungen erstrecken sich über den ganzen Wellenlängenbereich der Tiefentherapie und auf alle für menschliches Gewebe und für Filter in Frage kommenden Elemente. Es mag auch erwähnt werden, daß diese Messungen der Absorption und Streuung unabhängig sind von der umstrittenen Frage nach der Abhängigkeit der Empfindlichkeit der Ionisationskammer von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen. Die nebenstehende Tabelle 1 gibt die Formel und die Zahlenwerte wieder, die man erhält, wenn man den Schwächungskoeffizienten μ durch die Dichte ϱ des durchstrahlten Mediums dividiert. Man nennt diesen Wert μ/ϱ den Schwächungskoeffizienten pro Masseneinheit oder den Massenschwächungskoeffizienten. Kennt man diese Zahlenwerte, und kennt man außerdem die chemische Formel für irgendeine Substanz, so kann man aus diesen Daten den Massenschwächungskoeffizienten für die betreffende Substanz berechnen[1]). Während die untenstehende Tabelle die für Kohlenstoff, Aluminium, Kupfer und Wasser von den oben genannten Autoren gemessenen Zahlenwerte liefert, hat der Verfasser die Zahlenwerte für Blut, Fettgewebe, Muskel, Knochen und Luft, berechnet. Die Tabelle lehrt drei sehr wichtige Tatsachen:

1. die Absorption pro Masseneinheit ist proportional der dritten Potenz der Wellenlänge λ, also gleich $A \cdot \lambda^3$, wo A eine Konstante ist.

2. die Streuung σ pro Masseneinheit ist unabhängig von der Wellenlänge, also gleich $\frac{\sigma}{\varrho}$.

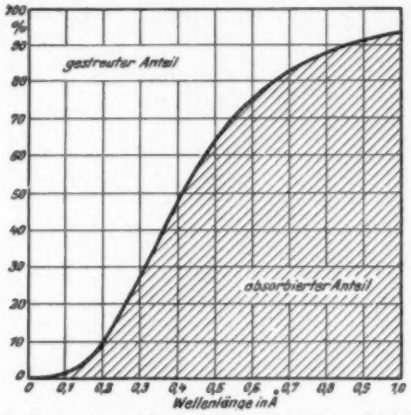


Fig. 9. Gestreuter und absorbierter Anteil in Abhängigkeit von der Wellenlänge für Wasser oder menschliches Gewebe in Prozenten der Gesamtschwächung nach *Küstner*.

Tabelle 1.

Massenschwächung = Massenabsorption + Massenstreuung.

Medium	$\frac{\mu}{\varrho} = A\lambda^3 + \frac{\sigma}{\varrho}$	Herkunft d. Zahlenwerte
Kohlenstoff	$1{,}0\,\lambda^3 + 0{,}18$	gemessen von *Richtmyer* und *Hewlett*
Aluminium	$14{,}5\,\lambda^3 + 0{,}16$	
Kupfer	$147\,\lambda^3 + 0{,}50$	
Wasser	$2{,}5\,\lambda^3 + 0{,}18$	
Blut	$2{,}5\,\lambda^3 + 0{,}18$	berechnet vom Autor
Fettgewebe	$1{,}6\,\lambda^3 + 0{,}18$	
Muskel	$2{,}2\,\lambda^3 + 0{,}18$	
Knochen	$11\,\lambda^3 + 0{,}18$	
Luft	$2{,}6\,\lambda^3 + 0{,}17$	

3. die Berechnung für Blut führt zu denselben Zahlenwerten wie die Messung von Wasser, und die Zahlenwerte, die die Rechnung für Fettgewebe und für Muskeln liefern, liegen ebenfalls sehr nahe bei denen von Wasser. Hieraus folgt, daß tatsächlich Wasser ein außerordentlich gut geeignetes Phantom ist, worauf schon *Friedrich* hingewiesen hat;

4. die Rechnung für Luft führt zu angenähert denselben Zahlenwerten wie bei Blut. Dies

[12]) *Richtmyer*, Phys. Rev. (2) *17*, 264, 1921, Nr. 2. Phys. Ber. 1921, 644.

[13]) *Hewlett*, Phys. Rev. (2) *17*, 284, 1921, Nr. 2. Phys. Ber. 1921, 773.

[14]) *Duane* und *Mazumder*, Proc. Nat. Acad. Amer. *8*, 45, 1922, Nr. 3. Phys. Ber. 1922, 689.

[1]) Vgl. z. B. *Glocker*, Phys. Z. *19*, 72, 1918.

deutet mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit darauf hin, daß die Ionisierung im menschlichen Gewebe nahezu dieselbe Abhängigkeit von der Wellenlänge zeigen wird wie die Empfindlichkeit der Ionisierungskammer.

Aus den Tatsachen 1 und 2 müssen wir aber noch eine andere, außerordentlich wichtige Schlußfolgerung ziehen. Betrachten wir hierzu das Beispiel des Aluminiums. Es möge sich zunächst um eine sehr weiche Strahlung, z. B. 1 Å handeln. Dann wird $\lambda^3 = 1$, die Massenabsorption wird also 14,5 und ist groß gegen die Massenstreuung 0,16. Ist dagegen die Strahlung sehr hart, beträgt sie z. B. 0,1 Å, so wird $\lambda^3 = 0{,}001$; dann ist also die Massenabsorption 0,0145 klein gegen die Massenstreuung 0,16. D. h.: Bei sehr weicher Strahlung ist die Absorption sehr groß gegen die Streuung, bei sehr harten Strahlen ist das Umgekehrte der Fall, hier wird fast alle Strahlungsenergie, die dem Primärstrahl durch Schwächung entzogen wird, gestreut, und nur ein sehr geringer Teil wird absorbiert. Berechnen wir uns die Verhältnisse für Wasser, das, wie wir eben sahen, ein sehr guter Ersatz für menschliches Gewebe ist, so erhalten wir nebenstehende Kurve (Fig. 9). Sie zeigt uns, daß bei 0,7 Å etwa 83 % absorbiert und 17 % gestreut werden; demgegenüber werden bei einer Wellenlänge von 0,13 Å, welche bei 200 kV und bei 1 mm Kupferfilterung in unserem Strahlengemisch am meisten vorherrscht, etwa 97 % gestreut und nur noch 3 % absorbiert. Für noch härtere Strahlen wird der gestreute Bruchteil noch größer, der absorbierte noch kleiner. Für die Therapie stellt das erneut eine Mahnung dar, wie sie schon von *Großmann*[15]) aus anderen Gründen ausgesprochen wurde, nicht zu hoch in der Spannung zu gehen, da ja nur dort, wo Energie absorbiert wird, biologische Wirkung vorhanden sein kann. Für die Diagnostik lehrt uns die Kurve, daß wir so weich als nur möglich arbeiten sollen, weil dann einerseits die Streuung geringer ist und die Aufnahme schärfer wird, andererseits die Absorption größer ist, was den Kontrastreichtum erhöht.

Anwendung auf Filter.

Während früher, als man mit weniger hohen Spannungen arbeitete, die Filter im wesentlichen durch ihre Eigenschaft, zu absorbieren, charakterisiert waren, tritt heute bei den wesentlich höheren Spannungen und Härtegraden der Röntgenstrahlen die Eigenschaft der Filter, als Streustrahler zu wirken, in den Vordergrund. Es sollen daher die fundamentalen Unterschiede in der Wirkungsweise der Filter für die Tiefentherapie besprochen werden, und zwar auf der Grundlage der eben genannten Präzisionsmessungen über Absorption und Streustrahlung. Wir vernachlässigen zunächst den Umstand, daß die Antikathode eines Röntgenrohres auch ein charakteristisches Linienspektrum aussendet, und beschränken uns vorläufig auf die Betrachtung ihres kontinuierlichen Spektrums. Dieses ist meines Wissens bisher für Spannungen bis 161 kV gemessen worden. Die Messungen werden ausgezeichnet durch eine Formel von *Behnken*[16]) dargestellt. Wir wollen diese Formel benutzen, um uns das kontinuierliche Spektrum bis zu Spannungen von 200 kV zu berechnen. Das Ergebnis zeigt die Fig. 10 für 50, 100, 150 und 200 kV. Die Kurven lassen die bekannten Tatsachen erkennen, daß mit Steigerung der Spannung einerseits das kurzwellige Ende des kontinuierlichen Röntgenspektrums, andererseits das Maximum der Kurve, d. h. die in unserem Strahlengemisch am meisten vorherrschende Wellenlänge, in Richtung kürzerer Wellenlänge verschoben wird, und daß schließlich die gesamte Intensität der Strahlung, die durch den Flächeninhalt jeder Kurve dargestellt wird, mit zunehmender Spannung steigt. Wir wollen uns nun berechnen, welchen Einfluß die Anwendung verschiedenartiger Homogenisierungsfilter auf die spektrale Verteilung bei 200 kV ausübt.

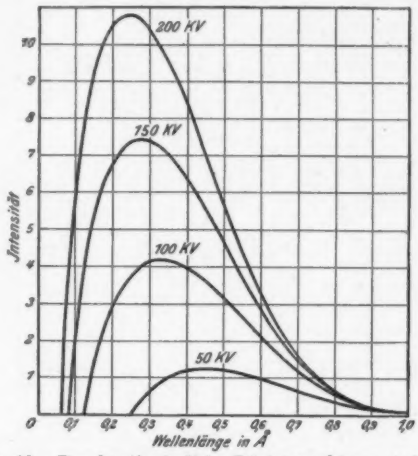


Fig. 10. Das kontinuierliche Röntgenspektrum, extrapoliert nach der Formel von *Behnken* für verschiedene Scheitelspannungen.

Wenn wir uns auch bewußt sind, daß infolge der Extrapolation mit Hilfe der Formel *Behnkens* die erhaltenen Kurven nur eine Näherung der Wirklichkeit darstellen können, so wird dennoch durch unsere Betrachtungen der wahre Verlauf der Kurven zweifellos im Prinzip richtig wiedergegeben werden.

Die Fig. 11 zeigt außer dem Verlauf der ungefilterten Kurve bei 200 kV den Verlauf der Kurve bei 1 mm Kupferfilterung. Außerdem sind noch die Kurven eingezeichnet, die wir erhalten, wenn wir solche Aluminium- und Kohlefilter verwenden, daß die Intensitätsscheitelwerte die gleiche Höhe besitzen wie bei 1 mm Kupferfilterung. Das Ergebnis lehrt:

[15]) *Großmann*, Fortschr. a. d. Geb. d. R. Str. 29, 337, 1922.

[16]) *Behnken*, ZS. f. Phys. 4, 241, 1921; ZS. f. techn. Phys. 2, 153, 1921.

a) Bei 1 mm Kupferfilterung erhält man einen schmalen Spektralbereich zwischen etwa 0,1 und 0,3 A. Weichere Strahlen als 0,3 A kommen praktisch nicht vor. Das Intensitätsmaximum liegt bei 0,13 A.

b) Bei Aluminium ist der Anteil an harter Strahlung geringer, der an weicher viel größer. Das Intensitätsmaximum liegt bei 0,16 A. Die weichsten Komponenten erstrecken sich bis etwa 0,4 A.

c) Beim Kohlefilter ist die Intensitätsverteilung fast dieselbe wie bei der ungefilterten Strahlung. Die Durchlässigkeit für die weichen Strahlen ist außerordentlich groß. Das Maximum der Intensität liegt etwa bei 0,2 A, die weichste Komponente beträgt etwa 0,7 A.

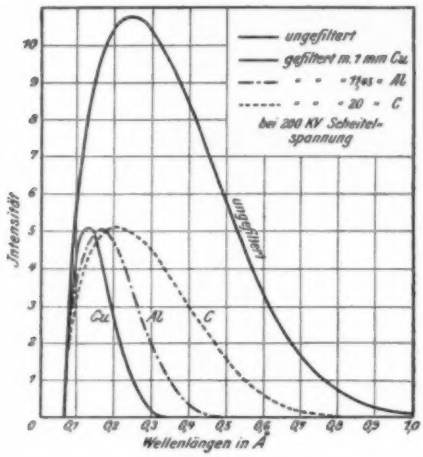


Fig. 11.

Das kontinuierliche Röntgenspektrum bei 200 kV Scheitelspannung für verschiedene Filtermaterialien und Filterdicken nach *Küstner*.

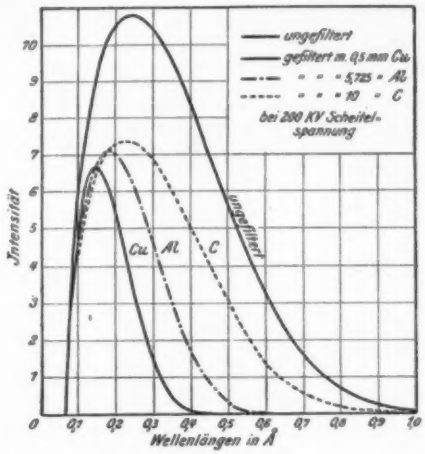


Fig. 12.

Für die halben Filterstärken erhält man die Kurvenzüge der Fig. 12.

Die verschiedene Wirkungsweise der einzelnen Filter wird allein durch ihre Eigenschaft bestimmt, zu absorbieren und zu streuen. So ist z. B. das Verhältnis

$$\frac{\text{absorbierte Energie}}{\text{gestreute Energie}} = \frac{A\,\lambda^3}{\frac{\sigma}{\varrho}}$$

für $\lambda = 0{,}3$ Å oder $\lambda^3 = 0{,}027$

bei Kohle .... $\dfrac{1{,}0 \cdot 0{,}027}{0{,}18} = 0{,}15$

bei Aluminium $\dfrac{14{,}5 \cdot 0{,}027}{0{,}16} = 2{,}4$

bei Kupfer.... $\dfrac{147 \cdot 0{,}027}{0{,}5} = 8{,}0$

Hierauf beruht auch der Umstand, daß man nichts mehr gewinnt, wenn man statt Kupfer ein Element höheren Atomgewichts als Filter verwendet. In der Tat deckt sich z. B. die äquivalente Kurve für Molybdän fast genau mit der des Kupferfilters. Wir müssen also aus unseren Betrachtungen schließen: Will man den Zweck einer Filterung konsequent durchführen, d. h. will man durch die Filterung erreichen, daß das Strahlengemisch auf einen möglichst engen Spektralbereich zusammengedrängt wird, so wird man am zweckmäßigsten als Filter Kupfer oder das ihm im periodischen System benachbarte Zink verwenden. Das gilt auch dann, wenn man weniger hart arbeiten will. Unter Beibehaltung von Kupfer oder Zink als Filter wählt man dann die Spannung entsprechend niedriger und die Röhrenstromstärke höher. Die Anwendung von Aluminium hingegen ist unzweckmäßig, da man damit das beabsichtigte Ziel nur unvollkommen erreicht. Sie ist auch unbegründet, weil, wie *Friedrich* und *Krönig*[17]) gezeigt haben, eine schädigende Wirkung durch charakteristische Strahlung des Kupferfilters nicht zu befürchten ist.

In Wirklichkeit ist dem kontinuierlichen Spektrum die charakteristische Eigenstrahlung der Antikathode übergelagert. Die intensivste Linie dieser Eigenstrahlung liegt für eine Wolframantikathode bei 0,21 A, für eine Platinantikathode bei etwa 0,19 A. Über das Verhältnis der Intensität dieser Linien zur kontinuierlichen Gesamtintensität ist leider bisher nichts Hinreichendes bekannt. Wir wollen das Linienspektrum der Antikathode deshalb nicht in unsere Betrachtungen einschließen.

Daß die Betrachtungen über verschiedene Filterwirkungen zu Recht bestehen, bestätigen sehr schön Messungen von *Duane*[18]) (Fig. 13), die dem Verfasser erst nachträglich bekannt wurden. Sie sind bei 161 kV (1 MA) ausgeführt und zeigen das kontinuierliche und das Linienspektrum einer Wolframantikathode unter Filterung einmal mit

[17]) *Friedrich* und *Krönig* l. c., S. 252 ff.

[18]) *Duane*, Journ. of Röntgenology 1922, Heft 3 u. ff.

1 mm Kupfer und einmal mit 12 mm Aluminium. Der Unterschied in der Lage des Maximums und im Anteil an weicher Strahlung tritt hier sehr schön zutage.

Erklärung von Erscheinungen und Auftreten von Meßfehlern durch Streustrahlung.

Ebenso wie bei der Diagnostik, so lassen sich auch bei der Therapie Erscheinungen, ja sogar auch Fehler durch die Streustrahlung erklären. Wir erwähnen:

1. *Die prozentuale Tiefendosis.* Unter prozentualer Tiefendosis versteht man bekanntlich das Verhältnis der Ionisierung 10 cm unter der Wasseroberfläche zur Ionisierung an der Oberfläche selbst. Nun hat *Großmann*[19]) gezeigt (Fig. 14), daß die prozentuale Tiefendosis für Spannungen über 150 kV nahezu unabhängig von der Spannung wird; d. h. durch weitere Spannungssteigerung läßt sich eine Erhöhung der prozentualen Tiefendosis praktisch nicht mehr erzielen. Das Ergebnis wird verständlich, wenn wir beachten, daß bei Verwendung von 1 mm Kupferfilter oder

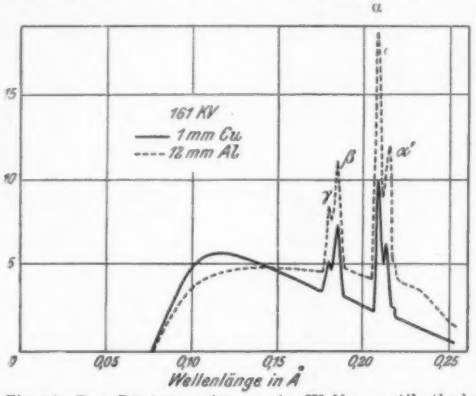


Fig. 13. Das Röntgenspektrum der Wolframantikathode bei Filterung mit 1 mm Kupfer bzw. 12 mm Aluminium nach *Duane*.

mehr die mittlere Härte des Strahlengemisches so groß ist, daß die Schwächung der Strahlung auf dem Wege von der Wasseroberfläche bis zur Tiefe von 10 cm fast allein durch Streuung hervorgerufen wird, welche aber von der Wellenlänge oder, was dieser entspricht, von der angelegten Spannung unabhängig ist.

2. *Der Homogenitätspunkt.* Um zu untersuchen, ob ein Strahlengemisch homogen ist, bedient man sich im allgemeinen der Fildermethode. Filtert man eine monochromatische Röntgenstrahlung, indem man sukzessive immer mehr Filter der gleichen Dicke in ihren Weg bringt, so wird durch Hinzufügen jedes einzelnen Filters die Intensität der Strahlung immer um denselben Prozentsatz geschwächt. Filtert man aber ein Strahlengemisch, so muß man, will man die Intensität der Strahlung durch Hinzufügung je eines Filters in jedem Falle um denselben Prozentsatz schwächen, die Dicke der Filter immer größer wählen. Denn beim Durchdringen des ersten Filters sind vorzugsweise die weicheren Anteile des Strahlengemisches absorbiert worden. Es ist also im Mittel härter geworden, und dasselbe wiederholt sich bei jedem weiteren Filter. Die Erfahrung lehrt nun aber, daß man, nachdem man eine größere Anzahl Filter zunehmender Stärke in den Weg des Röntgenlichtstrahls gebracht hat, die Dicke der Filter nicht mehr zu erhöhen braucht, um die Intensität um den gleichen Prozentsatz zu schwächen. Man hat hieraus den Schluß gezogen, daß die Strahlung alsdann praktisch monochromatisch sei. In Wirklichkeit ist diese Schlußweise falsch. Ist nämlich das Strahlengemisch zwar keineswegs monochromatisch, wohl aber so hart oder kurzwellig geworden, daß seine weitere Schwächung praktisch allein durch die Streuung der Filter hervorgerufen wird, so muß die prozentuale Schwächung unabhängig von der Härte sein, da die Streuung, wie wir oben sahen, von der Härte unabhängig ist. In Wirklichkeit sagt die Filtermethode also gar nichts darüber aus, von wann ab die Strahlung „praktisch homogen" ist, sondern allein darüber, von wann ab die Absorption klein wird gegen die Streustrahlung. Man mißt also nichts anderes als eine Filtereigenschaft. Wir müssen aus dieser Überlegung zwei Folgerungen ziehen: Einmal, daß wir bei Verwendung verschiedenen Filtermaterials (z. B. ein-

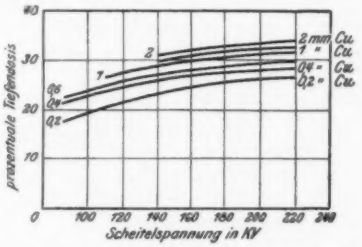


Fig. 14. Die prozentuale Tiefendosis nach *Großmann*.

mal Kupfer, einmal Kohle) verschiedene Homogenitätspunkte erhalten werden. Andererseits ist zu erwarten, daß für zwei sehr harte Strahlungen, von denen die eine monochromatisch, die andere aber ein Strahlengemisch ist, die Filtermethode denselben Homogenitätspunkt liefert, sofern nur die beiden Strahlungen so hart sind, daß die Absorption gegen die Streuung verschwindet[20]).

3. Wir wollen nun noch an die bekannte Tatsache erinnern, daß wir bei Absorptionsmessungen sehr falsche Ergebnisse erhalten können, wenn wir den Fehler begehen, daß wir das Filter unmittelbar vor der Ionisationskammer anordnen. In diesem Falle wird nämlich praktisch die gesamte Streustrahlung, die auf der der Lichtquelle abgewandten Seite aus dem Filter austritt, in die Ionisierungskammer fallen und in dieser mit zur Messung gelangen. Bringt man hingegen das Filter

[19]) *Großmann* l. c.

[20]) Vgl. hierzu auch *Holthusen*, Phys. Z. 20, 5, 1919.

entfernt von der Ionisierungskammer an, so fällt nur ein verschwindend kleiner Teil dieser Streustrahlung in die Ionisierungskammer, und dieser Fehler darf vernachlässigt werden. — Wie *Glocker*[21]) berechnet hat, ist der Einfluß der Streustrahlung auf das Ergebnis der Absorptionsmessung am kleinsten, wenn das Filter in der Mitte zwischen Antikathode und Ionisationskammer steht.

Der Ruthsspeicher.

Von H. Treitel, Berlin.

Ebenso wie die Gütererzeugung nicht nur Herstellungs-, sondern auch Transportaufgaben umschließt, bildet die Energieerzeugung eine Vereinigung von Herstellungs- und Transportvorgängen. Während aber beim Transport der Güter die Lagerung oder Speicherung eine sich von selbst ergebende Notwendigkeit bildet und die Volkswirtschaft krisenhafte Erscheinungen zeigt, wenn dieser Regulator versagt, ist die Speicherung für die Energieerzeugung eine Transportaufgabe, deren systematische Durchdringung der neueren Zeit vorbehalten geblieben ist. Bekannt sind die großartigen Stauanlagen für die Ausnutzung von Wasserkräften; jedermann kennt auch die Akkumulatoren zur Aufspeicherung elektrischer Energie. Noch nicht Allgemeingut ist hingegen der Überblick über die Speicherungsmöglichkeiten für den wichtigsten Energieträger, den gespannten Wasserdampf.

In vielen Bergwerks- und Hüttenanlagen sind in den vergangenen zwölf bis fünfzehn Jahren Speicher aufgestellt worden, um den aus Fördermaschinen, Hämmern und Walzenzugmaschinen stoßweise ins Freie auspuffenden Dampf zu sammeln und in gleichförmigem Strom Niederdruckdampfturbinen zuzuführen. Der bekannteste dieser Speicher ist der Rateauspeicher; es ist ein mit heißem Wasser gefüllter Behälter, in den der Dampf in guter Verteilung eingeführt wird. Beim Laden kondensiert der Dampf unter Drucksteigerung, während beim Entladevorgang eine Verdampfung entsprechend den Sättigungstemperaturen stattfindet. Die Rücksicht auf den Gegendruck der vorgeschalteten Kolbendampfmaschinen und auf die Erhaltung eines möglichst großen Druckgefälles für die nachgeschaltete Dampfturbine läßt für den Rateauspeicher Druckschwankungen in den Grenzen von etwa 1,3 bis etwa 1,03 at abs. zu. Die Wirkung dieses Speichers hängt von einem sehr schnellen Ausgleich der verhältnismäßig geringfügigen Temperaturunterschiede ab. Um dieser Schwierigkeit zu entgehen, haben andere Erfinder die Speicherung in Wasser durch eine Raumspeicherung ersetzt, sei es mit veränderlichem Inhalt und konstantem Druck nach Art der Gasometer, sei es mit festem und entsprechend großem Inhalt bei variablem Dampfdruck. Diese Einrichtungen wirken aber nicht zurück auf die Erzeugung des Dampfes. Seitdem man gelernt hat, Dampfturbinen zu bauen, bei welchen sich eine Frischdampfstufe selbsttätig einschaltet, sobald die Abdampfzufuhr aufhört, sind diese Einrichtungen an sich überflüssig geworden, wenn man sie nicht als Mittel zur Beruhigung unvollkommener Maschinensteuerungen und zur Verkleinerung der Maschinenabmessungen ansieht. Sie sind daher nicht geeignet, die Brennstoffzufuhr zu den Dampfkesseln unabhängig zu gestalten von den Schwankungen des Dampfbedarfes, und ihre Rolle ist nicht in Parallele zu stellen zu derjenigen der wirklichen Speicher bei der Gütererzeugung.

Als primitiver Behelf in dieser Richtung dient die Verwendung von Großwasserraumkesseln, die als Cornwall- und Flammrohrkessel bekannt sind. Bei einer Inanspruchnahme, welche die jeweilige Wärmezufuhr übersteigt, sinkt der Dampfdruck, die Temperatur des Wasserinhalts ist höher als die Sättigungstemperatur bei dem niedrigeren Druck, und es findet eine entsprechende Verstärkung der Verdampfung aus dem großen Wasserinhalt statt, ohne daß eine gefährliche Absenkung des Wasserspiegels eintritt. In allen Industrien mit unregelmäßigem Dampfverbrauch findet man daher diese, sowohl in bezug auf die Leistung als auch auf die obere Druckgrenze stark beschränkte Kesselart, und man paßt sich den Verhältnissen des Betriebes durch geringe mittlere Belastung der einzelnen Kessel an. Die entsprechende Vermehrung der Kesseleinheiten führt zur Vervielfachung der Verluste durch Ausstrahlung, Undichtigkeiten, Sach- und Personalkosten, und sie enthebt trotzdem nicht von dem Zwange, die Feuerungen bei eintretenden Dampfspitzen zu „forcieren", d. h. zeitweilig stärker zu beschicken. Jede Veränderung des Feuers erfordert aber eine neue Regelung des Luftüberschusses, und es ist unvermeidlich, daß bei jedem Übergang eine ungünstige Verbrennung, gleichbedeutend mit niedrigem CO_2-Gehalt der Rauchgase, stattfindet. Dampfspitzen in Betrieben mit Hochleistungskesseln, also solchen mit kleinem Wasserinhalt, werden durch Zuschalten von Kesseln gedeckt, tieferen Einsenkungen in der Dampferzeugungskurve muß durch Außerbetriebnahme von Kesseln entsprochen werden. Alle diese Maßnahmen sind unweigerlich mit einer Verschlechterung der Wärmebilanz verknüpft, und es ist verwunderlich, daß nicht alle Bestrebungen in der Dampfwirtschaft auf einen wirksamen Ausgleich zwischen Zeiten des Dampfüberschusses und des Dampfmangels hingearbeitet und für dieses Kernproblem früher eine Lösung gezeitigt haben.

Dieses Verdienst gebührt Dr. *Ruths* in Stockholm, dessen Dampfspeicher in der Tat geeignet ist, dieses fehlende Glied zwischen Dampferzeuger und Dampfverbraucher zu bilden. Der unwiderlegliche Erfolg einer großen Anzahl von ausgeführten Anlagen läßt erwarten, daß in kurzer Zeit das Verständnis für die Wichtigkeit dieser Erfindung überall erwachen wird.

[21]) *Glocker*, Phys. Z. *19*, 249, 1918.

Die physikalische Grundlage für den Speichervorgang im Ruthsspeicher ist dieselbe wie für das Speichervermögen des Großwasserraumkessels und des Rateauspeichers. Zeitweilig überschüssiger Dampf wird in einem zylindrischen, gut isolierten Gefäß (vgl. Fig. 1) in Wasser eingeleitet. Für eine gleichmäßige Verteilung des Dampfes und einen schnellen Ausgleich der Temperaturen sorgen die in der Figur erkennbaren Düsen und Umlaufhülsen. Hierbei erhöht sich die bei dem vorangegangenen Entladevorgang gesunkene Temperatur des Wassers; der Druck steigt entsprechend der höheren Sättigungstemperatur bis zur oberen gewünschten Druckgrenze. Beim Entladen spielt sich der Vorgang umgekehrt derart ab, daß die Steuerungsorgane auf gleichbleibende Dampfentnahme aus dem Kessel hinwirken, während die oberhalb des mittleren Bedarfes liegende Dampfmenge aus dem Speicher entnommen wird. Sinkender Dampfdruck führt zu einem Ausgleich der sich einstellenden Wasserüberhitzung durch Verdampfung. In die Dampfentnahmeleitung ist eine Lavaldüse eingeschaltet, welche die abströmenden Dampfgewichte begrenzt und sich als zweckdienlich erwiesen hat, um auch sehr große plötzliche Dampfspitzen ohne Überkochen des Wasserinhaltes entnehmen zu können.

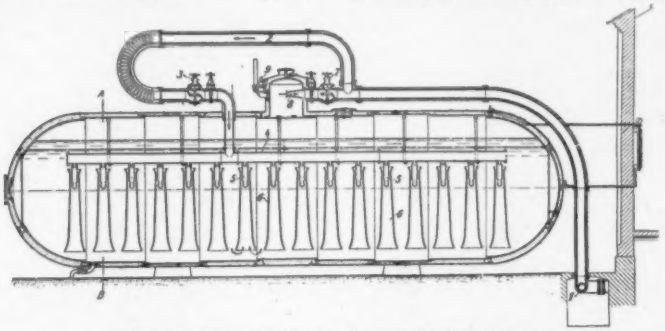


Fig. 1. Längsschnitt durch einen Ruthsspeicher.
A. Dampfraum. B. Wasserraum. 1. Vereinigte Lade- und Entladeleitung, die den Speicher mit dem Dampfnetz verbindet. 2. Ladeleitung. Nur im Sinne des Pfeiles von Dampf durchströmt. 3. Rückschlagventil, um ein Rückströmen entgegen der Pfeilrichtung in 2 zu verhüten. 4. Verteilungsrohr für den Speicherdampf. 5. Einblasedüsen. 6. Umlaufhülsen für den schnellen Temperaturausgleich. 7. Rückschlagventil in der Entladeleitung; es schließt während des Ladevorganges durch den Unterdruck im Speicher und verhütet den Eintritt des Dampfes auf anderem Wege als durch das Verteilungsrohr. 8. Lavaldüse; zur Begrenzung der abströmenden Dampfmenge. 9. Sicherheitsventil.

In betriebstechnischer Hinsicht spürt man den Vorteil selbsttätig konstant gehaltener Dampferzeugung sowohl im Kesselhaus als im Betrieb. Der Heizer braucht nicht mehr seine ganze Aufmerksamkeit auf die Anpassung der Brennstoffzuführung an die Dampflieferung zu richten, stets gewärtig, plötzlichen Änderungen gegenüberzustehen, sondern er kann sich ganz der Einhaltung des günstigsten Luftüberschusses widmen und alle Verrichtungen ausführen, die zur Aufrechterhaltung der über längere Perioden einzustellenden Betriebsverhältnisse dienen. Die Hauptschwierigkeiten, die sonst einem gerechten Prämiensystem für Kohlenersparnis entgegenstehen, fallen damit fort. Im Betrieb entfällt bei plötzlichem großem Bedarf an Dampf die Rücksichtnahme auf die Leistungsfähigkeit des Kesselhauses. Der Speicher erfüllt seine Aufgabe als Sammellager für den Dampf, ohne daß an der Erzeugungsstätte etwas verspürt wird und gestattet überall dort, wo bisher die Produktionsvorgänge verzögert werden mußten, eine Beschleunigung und damit eine Produktionssteigerung ohne Vermehrung oder Vergrößerung von Maschinen und sonstigen Anlageteilen. Hierin liegt aber der wirkliche Fortschritt auf industriellem Gebiet.

Das Verdienst von Dr. *Ruths* besteht aber nicht nur darin, diese Zusammenhänge erkannt und eine allgemeine Lösung der Aufgabe durch seinen Speicher angegeben zu haben, sondern ganz besonders darin, daß er seine Erfindung für den industriellen Gebrauch durch die Erprobung aller technischen Einzelheiten reif gemacht hat. Namentlich die Entwicklung der erforderlichen Regelorgane und Sicherheitsvorkehrungen bilden unerläßliche Voraussetzungen des Erfolges.

Die Loslösung des eigentlichen Dampferzeugers von dem Dampfsammler ist rudimentär schon vollzogen beim Übergang vom Großwasserraumkessel zum Wasserrohrkessel und tatsächlich verwirklicht in der feuerlosen Lokomotive, aber beides nicht als Mittel zur Einwirkung auf die Dampferzeugung im Sinne des Ausgleiches gegenüber dem Bedarf. Diesen Zweck erfüllen ebensowenig die schon erwähnten Dampfbehälter. Ihr Speicherungsvermögen ist gegenüber dem Ruthsspeicher ein sehr kleines und ihre Wirkung kann verglichen werden mit derjenigen des von der eigentlichen Kraftmaschine losgelösten und in ein besonderes Hilfsaggregat verlegten Ilgner-Schwungrades, welches von der Dampfzentrale Belastungsstöße von der Größenordnung von Minuten abfängt, während das gewöhnliche, mit der Maschine unmittelbar verbundene Schwungrad nur Zuckungen von der Größenordnung von Se-

kunden auszugleichen vermag. Beim Ruthsspeicher ist aber das Speicherungs- und Abgabevermögen der Energie nicht auf die kurze Zeit von Minuten beschränkt, sondern es erfüllt die Aufgabe eines Ausgleiches für Zeiten von der Größenordnung von Stunden. Ohne diese Eigenschaft wäre der Ruthsspeicher nicht imstande, die Emanzipierung des Kesselhausbetriebes von der Warenerzeugung und dem jeweiligen Energiebedarf zu bewirken und seine einschneidenden Wirkungen auf den Wärmehaushalt und die Produktionssteigerung zu ermöglichen.

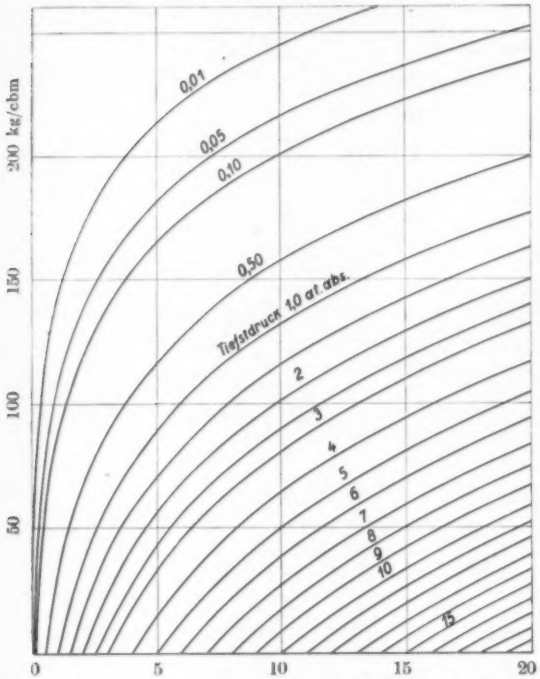


Fig. 2. Speicherfähigkeit von 1 m³ Wasser bei verschiedenem Höchstdruck und Tiefstdruck im Speicher.

Worauf beruht diese Steigerung im Speichervermögen des Ruthsspeichers im Vergleich mit anderen Dampfspeichern? Den Schlüssel zur Frage gibt Fig. 2, in der die aus einem Kubikmeter Wasser bei einer Drucksenkung um 1 at erzeugte Dampfmenge für verschiedene Anfangsdrucke abgelesen werden kann. Man sieht, daß zwar im Gebiet niedriger Drücke das Speichervermögen größer ist als bei hohen Drücken, daß man aber auch im Gebiet der höheren Drücke durch eine entsprechende Wahl der Druckgrenzen, zwischen denen der Speicher arbeitet, außerordentlich große Mengen von Dampf in Wasser speichern kann.

Es ist nun nicht angängig, ohne weiteres den auf einen erheblichen Spannungabfall von mehreren Atmosphären angelegten Ruthsspeicher einfach zwischen den Kessel und die Hochdruckdampf abnehmenden Maschinen zu schalten; denn diese würden mit Dampf von variablem Druck gespeist werden, je nachdem der Speicher geladen oder entladen ist. Eine derartige Schaltung würde nicht nur zurückwirken auf die Leistungsfähigkeit der Maschinen, sondern auch auf die hinter die Maschinen verlegten sonstigen Wärmeverbraucher, wie Heizungen, Trockenapparate u. dgl. Durch den Speicher wird vielmehr eine wirkliche Unabhängigkeit der Betriebseinrichtungen voneinander erreicht, indem die Maschinen ihren vollen Dampfdruck vom Kessel unverändert erhalten und die anderen Wärmeverbraucher ebenfalls mit Frischdampf oder Niederdruckdampf konstanter Spannung versorgt werden. Dies erreicht Dr. *Ruths*, indem er den Speicher zwischen zwei Dampfnetze verschiedener Spannung legt, sei es zwischen Kesselspannung und das Niederdrucknetz oder aber zwischen zwei Niederdrucknetze, und die Ladung und Entladung durch besondere Ventile so steuert, daß der Druck im Kessel konstant bleibt. Wenn dann noch durch Druckminderventile die Spannung konstant gehalten wird, werden durch den Speicher, gleichgültig, ob er zwischen höheren oder tieferen Druckgrenzen arbeitet, alle Schwankungen des Dampfbedarfes aufgenommen, ohne daß am Ort der Dampferzeugung oder an den Stellen des Verbrauches Änderungen der Dampfspannung auftreten.

Wenn kein Niederdruckdampf für Koch-, Heiz- oder Trockenzwecke nötig ist, können Niederdruckdampfverbraucher mit Leichtigkeit geschaffen werden, indem man die Niederdruckzylinder von Dampfmaschinen oder die letzten Stufen von Dampfturbinen heranzieht.

Die auf höhere und höchste Betriebsdrucke von etwa 100 at hinzielende Entwicklung des Dampfkessel- und Dampfkraftmaschinenbaues hat den Ruthsspeicher als unentbehrlichen Bestandteil der Anlagen bereits erkannt. Die Höchstdruckkessel werden einen Wasserraum überhaupt nicht mehr besitzen, sondern lediglich röhrenförmige Dampfentwickler sein. Die Dampfmenge des Kessels entspricht alsdann völlig der Wärmezufuhr, und ein Ausgleichsvermögen, auch im beschränktesten Umfange, kann ihnen nicht zugemutet werden. Der in einen beliebigen tieferen Druckbereich verlegte und von Rücksichten auf die Festigkeitsbedingungen für die höchsten Drücke befreite Ruthsspeicher gibt auch solchen Anlagen die Elastizität, welche die Großwasserraumkessel nur in kleinstem Ausmaß für sich in Anspruch nehmen können.

Schließlich sei die wichtige Rolle erwähnt, die dem Ruthsspeicher für den Ausgleich der Gas- und Dampfwirtschaft in Hochöfen- und Hüttenwerken erwächst. Die wirtschaftlich gebotene Verwertung der gewaltigen Energiewerte, die früher in den Hochöfen- und Koksofengasen ungenutzt entwichen, hat bekanntlich zu einer außerordentlich günstigen Ausnutzung in Großgas-

maschinen geführt. Eine ausschließliche Energieerzeugung mit Gas ist indessen niemals durchführbar, und überall besteht nebenher eine Erzeugung von Dampf zu Kraftzwecken, teils aus überschüssigem Gas, teils mit der Abhitze aus den Gasmaschinen, teils aus mit Kohle gefeuerten Kesseln. In einem solchen System schwankt nicht nur die Menge der anfallenden Gase, sondern ohne Zusammenhang damit auch der Energiebedarf, so daß die Gasmaschinen Belastungsschwankungen unterworfen sind, bei denen sie mit ungünstigem Wirkungsgrad arbeiten; häufig ist auch die Wärmezufuhr zu den Dampfkesseln gerade dann am kleinsten, wenn sich die größte Inanspruchnahme einstellt. Gasometer, soweit sie überhaupt vorhanden sind, dienen meist nur als Vorratsbehälter für den Fall von Störungen im Ofenbetrieb. Der Ruthsspeicher ist berufen, diese Schwierigkeiten zu beheben, indem er alle Schwankungen des Dampfbedarfes und der Wärmezufuhr im ganzen System ausgleicht, so daß die Gasmaschinen ständig voll belastet arbeiten können, alle Energiespitzen von Dampfturbinen übernommen werden, die dazu ganz besonders geeignet sind, während die sie speisenden Kessel unter konstanter Dampferzeugung bei hohem Wirkungsgrad arbeiten.

Der Ruthsspeicher wird ganz allgemein eine einschneidende Wirkung auf die Behandlung dampftechnischer Aufgaben haben; wie bei der Erzeugung und Verteilung der elektrischen Energie eine zentrale Überwachung an der Schalttafel unentbehrlich ist und jede solche Anlage auf Grund eines wohldurchdachten Schaltungsschemas zu bauen ist, und wie es eine selbstverständliche Forderung ist, daß in einem elektrischen Netz Spannung und Periodenzahl konstant zu halten sind, wird man vor Auslegung der Dampfnetze ein die größte Einfachheit verbürgendes Schema entwerfen und die Konstanthaltung der Dampfdrucke an der Erzeugungs- und Verbrauchsstelle als unentbehrliche Forderung betrachten. Zwar arbeiten alle Regelorgane selbsttätig, doch ergibt es sich wie von selbst, daß hier, am Herzen der Anlage, eine zentrale Überwachung aller Regel- und Kontrollapparate entsteht und ein Gegenstück zur elektrischen Schalttafel gebildet wird.

Besprechungen.

Stark, Johannes, Die physikalisch-technische Untersuchung keramischer Kaoline. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1922. IV, 145 S. und 40 Abbildungen.

Schon vor Jahrzehnten hat man in der Tonwarenindustrie der verschiedenen Kulturländer die Notwendigkeit erkannt, von den seit altersher benutzten empirischen Methoden abzugehen und die Fabrikation möglichst auf wissenschaftlichen Erkenntnissen aufzubauen, hat keramische Gesellschaften gegründet, die sich das Handinhandarbeiten von wissenschaftlicher Forschung und industrieller Praxis zur Aufgabe gestellt haben, um die Ergebnisse der ersteren der letzteren zunutze zu machen. Auch in Deutschland hat man schon vor dem Weltkriege eine „Deutsche Keramische Gesellschaft" ins Leben gerufen, die sich inzwischen günstig weiterentwickelt und schon manche für die Industrie ersprießliche Arbeit geleistet hat. Dementsprechend hat auch die in- und ausländische keramische Fachliteratur seit dieser Zeit gewaltig an Umfang zugenommen, so daß es für den der Keramik ferner Stehenden gar nicht leicht sein mag, sich einen Überblick über sie zu verschaffen. — Warum ich meiner Besprechung des Starkschen Buches diese Einleitung vorausschicke? Weil es nach den Ausführungen des Verfassers an verschiedenen Stellen seines Werkes den Anschein haben könnte, als ob die keramische Forschung seit den Tagen des Chemikers *Seger* keine Fortschritte gemacht und, erst seitdem *Stark* und seine Schüler sich mit keramischen Arbeiten beschäftigen, eine neue wissenschaftliche Durchdringung der Keramik eingesetzt habe. Dies möchte ich zunächst zur Klärung des Sachverhaltes feststellen.

Der Verfasser teilt den Inhalt seines Buches ein in einen einführenden Abschnitt I „Mineralische und chemische Eigenschaften der Kaoline" und in die auf experimentellen Ergebnissen und praktischen Beobachtungen aufgebauten Abschnitte II „Physikalisch-technische Eigenschaften der Kaoline bei Zimmertemperatur" und III „Das Verhalten von Kaolinen und keramischen Massen beim Brennen". Der letzte Abschnitt IV ist der Besprechung verschiedener deutscher Kaoline gewidmet, deren technisch wichtige Eigenschaften gekennzeichnet und deren Gewinnungs- und Aufbereitungsstätten kurz beschrieben werden.

Ohne die Bedeutung des Verfassers als wissenschaftlicher Physiker herabsetzen zu wollen, muß doch gesagt werden, daß er auf dem keramischen Gebiete noch Neuling ist. Sonst hätte er nicht zu dem in Abschnitt I (S. 12) ausgesprochenen eigenartigen Urteile kommen können, daß „die chemische Gesamtanalyse eines Kaolins oder Tones wissenschaftlich und praktisch vollkommen wertlos ist und man den Erzeugern und Verbrauchern von Kaolin nur den Rat geben kann, sich die Mühe oder Kosten einer chemischen Gesamtanalyse zu ersparen". Der Keramiker weiß sehr wohl, daß zur Beurteilung der für die Verarbeitung eines Kaolins wichtigen Eigenschaften die Kenntnis seiner chemischen Zusammensetzung nicht ausreicht. Immerhin ist diese Kenntnis der chemischen Analyse der keramischen Rohstoffe, also auch der Kaoline und Tone, für das eingehende Studium keramischer Prozesse, insbesondere auch für die Beurteilung des pyrochemischen Verhaltens der Massen und Glasuren, unbedingt notwendig. Zur Aufklärung über diese Frage, weiter auch über die Bedeutung der sog. rationellen Analyse der Tone und Kaoline, sei hier nur kurz auf zwei Arbeiten von *R. Rieke* verwiesen, nämlich „Die Bedeutung der chemischen Analysen und Formeln in der Keramik"[1]) und „Die rationelle Analyse als Betriebskontrolle"[2]). Im übrigen ist *Stark* durchaus darin beizupflichten und wird von niemand bestritten, daß für die Beurteilung eines Kaolins oder Tones seine verschiedenen physikalischen Eigenschaften eine außerordentlich wichtige Rolle spielen.

Diese physikalisch-technischen Eigenschaften, wie Körnerform, Korngröße, Oberflächenkräfte, Wasserdampfaufnahme, Wasserdurchlässigkeit, Bruchfestig-

[1]) Berichte der Technisch-wissenschaftlichen Abteilung des Verbandes Keramischer Gewerke in Deutschland, 1917 (*III*), S. 21.

[2]) Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft 1922 (*3*), S. 27.

keit, Härte, Bildsamkeit u. a. werden in dem Abschnitt II eingehend besprochen, und es werden dabei zahlreiche Verfahren für ihre Messung angegeben. Der Verfasser geht hier zum Teil eigene Wege, und sowohl seine praktischen Versuche wie seine theoretischen Erwägungen zeugen von selbständigem Denken. Das von ihm angegebene Verfahren zur Bestimmung der Bildsamkeit durch Auswalzen einer Tonplatte bis zur Rissebildung ähnelt in mancher Hinsicht dem von *J. W. Mellor*[3]) beschriebenen.

Der vom Verfasser ausführlich erörterte Begriff des „Tonsubstanzfachwerkes" erleichtert das Verständnis für den inneren Aufbau der keramischen Massen und Glasuren. Interessant wäre es gewesen, zu hören, wie sich der Verfasser als exakter Physiker zu der Theorie des nordmerikanischen Keramikers *E. W. Washburn*[4]) über den Einfluß der Schwerkraft auf das Trocknen keramischer Erzeugnisse stellt. Ebenso vermisse ich in dem Abschnitte über die Trocknung ein Eingehen auf das Verfahren der sog. Feuchtigkeitstrocknung[5]) (humidity drying), das neuerdings in der nordamerikanischen grob- und feinkeramischen Industrie große Bedeutung erlangt hat.

In Abschnitt III, der ebenfalls eine ganze Reihe von Unterabteilungen umfaßt, leitet der Verfasser von der Besprechung der Vorgänge in den einzelnen Rohstoffen beim Brennen systematisch zu der des thermischen Verhaltens keramischer Rohstoffgemische über, wobei er teils frühere Ergebnisse anderer Forscher zugrunde legt, teils eigene Ansichten ausspricht. Einen Beitrag zur Kenntnis der Entwicklung von Gasen aus Massen und Glasuren beim Brennen, die in der Fachliteratur schon oft Gegenstand der Besprechung und Untersuchung gewesen ist, bilden die Mitteilungen über den experimentellen Nachweis der Bildung von Kohlenoxyd aus Kaolin und des Gasens von geschmolzenem Feldspat (Entwicklung von Wasserdampf). Es sei hier aber darauf hingewiesen, daß das sog. „Nadelstichigwerden" der Glasuren auch noch andere Ursachen haben kann. Die thermische Zersetzung der Tonsubstanz behandelt der Verfasser ziemlich kurz. Von den zahlreichen hierüber erschienenen Arbeiten findet nur die von *Sokoloff* flüchtige Erwähnung, während die anderer Forscher, z. B. auch eine neuere interessante Arbeit von *W. Pape*[6]) unberücksichtigt bleiben. Bei der thermischen Umwandlung des Quarzes in andere Modifikationen wäre der Vollständigkeit halber außer der in Tridymit wohl auch noch die in Cristobalit zu nennen. Besondere Beachtung verdient, was der Verfasser über den Begriff der „Kornrissigkeit" in Steingut- und Porzellanscherben ausführt, und sicherlich wird dieser Gedanke auch anderen keramischen Forschern Anregung zu weiteren Untersuchungen über diesen Brennfehler geben. Die Darstellung der Vorgänge im keramischen Brennofen auf S. 94 und 95 ist etwas kurz und lückenhaft. Sie sind teilweise viel verwickelter, als sich aus den Ausführungen des Verfassers ersehen läßt. Die beste Beschreibung der hier in Frage kommenden Verhältnisse stammt wohl von *W. Pukall*[7]). Nach der Erörterung des thermischen Verhaltens der Systeme Kaolin-Quarz, Kaolin-Feldspat und Kaolin-Feldspat-Quarz an Hand verschiedener Schaubilder gedenkt der Verfasser auch der Wirkung des Kalkes in keramischen Massen, wie auch an anderen Stellen des Buches mit Recht mehrfach auf die pyrochemische Wirkung der in den Rohstoffen enthaltenen „Verunreinigungen" hingewiesen wird. Nur der Einfluß eines Gehaltes an Titandioxyd ist übersehen worden. Die Bemerkung auf S. 121, daß „das Steingut überwiegend aus Tonsubstanz — unter Kalkzusatz — besteht und vor allem zumeist keinen Feldspat enthält", soll, wie ich annehme, wohl nur für das sog. weiche oder Kalksteingut gelten. Andernfalls wäre ihr entgegenzuhalten, daß sie gerade für die bessere Art des Steingutes, das Feldspat- oder Hartsteingut, nicht zutrifft.

Der Verfasser hat bei seinen experimentellen Untersuchungen, über die er in Abschnitt II und III berichtet, eine ausgewählte Anzahl deutscher Kaoline zugrunde gelegt, über die er in einem besonderen Abschnitt IV sich nochmals eingehend ausspricht, wobei er den Erzeugern und Verbrauchern von Kaolin praktische Winke für die Art der Anbietung bzw. Auswahl dieser Rohstoffe gibt. Der Grundsatz der Mischung mehrerer Kaoline, die sich in ihren Eigenschaften (Kornfeinheit, Bruchfestigkeit usw.) ergänzen — ein Grundsatz, der übrigens in der keramischen Industrie schon lange Beachtung findet —, wird an verschiedenen Beispielen von neuem überzeugend dargelegt. Vor allem wird auch die noch immer weitverbreitete Meinung von der Unersetzlichkeit des nordböhmischen Kaolins als unrichtig zurückgewiesen und betont, daß sich sehr wohl Mischungen deutscher Kaoline finden lassen, die in der Erfüllung aller keramischen Anforderungen dem nordböhmischen Kaolin mindestens gleichstehen. Auch diese Erkenntnis ist für den deutschen wissenschaftlichen Keramiker nicht neu, gewinnt aber in der heutigen Zeit des Valutaelendes für die deutsche keramische Industrie wirtschaftlich immer mehr an Bedeutung, ebenso wie das Bestreben, die böhmische Braunkohle als Brennstoff auszuschalten. Bei den Mitteilungen über diese deutschen Kaolinvorkommen wären auch solche über die Kaoline des Börtewitz-Kömmlitzer Beckens (bei Mügeln, Bez. Leipzig), die hohe technische Bedeutung besitzen, sicherlich am Platze gewesen.

Weiter möchte ich, um bei Dritten Irrtümer auszuschließen, darauf hinweisen, daß die Angaben des Verfassers über den an „feldspatartigem Mineral" reichen Seilitzer Kaolin sich nur auf das Erzeugnis der neugegründeten Deutschen Feldspat- und Kaolin-Werke A.-G. in Seilitz beziehen, nicht aber auch auf den seit mehr als 150 Jahren von der Staatlichen Porzellanmanufaktur Meißen in eigener Grube im Dorfe Seilitz gewonnenen Kaolin, der im Gegenteil eine rein weißbrennende, sehr feuerfeste, bei 1100° durchaus noch nicht dichtgebrannte Erde darstellt. Unklar ist mir und vermutlich auch anderen Chemikern, wie der Verfasser die rationelle Zusammensetzung des Seilitzer Kaolins lediglich aus seinem Glühverlust und dem physikalischen Verhalten bestimmen konnte, ohne sonstige chemische Hilfsmittel zu benutzen.

Ich bin in vorstehendem wiederholt gezwungen gewesen, die Ausführungen *Starks* zu berichtigen und sonstige Ausstellungen zu machen. Es ist an sich durchaus zu begrüßen, wenn auch Vertreter der reinen Naturwissenschaften, die der Keramik bisher ferngestanden haben, ihre Forschungstätigkeit auf dieses Ge-

[3]) Transactions of the Ceramic Society *XXI* (1921/22), Tl. 1, S. 91; Auszug im Sprechsaal 1922, S. 400.

[4]) Journal of the Amer. Ceram. Society, 1918 (*1*), S. 25.

[5]) Vgl. u. a. *K. Endell*, Berichte der Deutschen Keram. Gesellschaft 1922 (*3*), S. 213.

[6]) Über den Wasserverlust des Kaolins und sein Verhalten in festem Zustande zu den Karbonaten und Oxyden der Erdalkalien. Dissertation, Göttingen 1922.

[7]) Sprechsaal 1919, S. 61 ff.

biet ausdehnen. Aber es wäre dann doch immer zu empfehlen, wenn der Betreffende sich von einem wirklichen Keramiker, der auch chemische Erfahrung besitzt, beraten ließe. Wäre dies im vorliegenden Falle geschehen, so würde das Starksche Buch einen wirklichen praktischen und auch theoretischen Wert besitzen, und der Verfasser hätte die Aufgabe, die er sich gestellt hatte, sicherlich vollkommener gelöst, als es so — bei Anerkennung alles Guten, was das Buch enthält — der Fall ist. *W. Funk, Meißen.*

Mitteilungen aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Metallforschung Neu-Babelsberg. Band 1. Dem Andenken an *Emil Heyn* gewidmet. Halle, Wilhelm Knapp, 1922.

Das noch in der Organisation begriffene Institut für Metallforschung hat bekanntlich das Mißgeschick gehabt, seinen Leiter *E. Heyn* hinscheiden zu sehen. Wer es bisher nicht gewußt hat, was dieser Verlust bedeutet, kann es aus dem vorliegenden Heft der „Mitteilungen" erfahren. Es enthält Arbeiten, die wohl alle von *Heyn* angeregt und geleitet worden waren. Viele dieser Arbeiten machen einen nicht richtig zum Abschluß gebrachten Eindruck und lassen dadurch das Bestreben erkennen, in diesem dem Hingeschiedenen gewidmeten Heft möglichst wenig über das von ihm selbst noch Gegebene hinauszugehen. Dem meisterhaft angelegten Plan der Arbeiten fehlt deshalb vielfach der krönende Aufbau. Der Wert der experimentell ermittelten Tatsachen wird dadurch nicht gemindert.

Das Heft trägt ganz und gar das Gepräge des Heynschen Geistes, charakteristisch in seiner echt deutschen Art der Problemstellung und Untersuchung. Während der Engländer bei seinen Untersuchungen meistens rein empirisch und vom Praktischen ausgehend zu Werke geht und zunächst reiches Tatsachenmaterial zusammenträgt, dessen einheitliche Deutung erst vorsichtig und langsam zustande kommt, geht *Heyn* von einem theoretischen Gedanken, von einer allgemeinen Problemstellung aus. Zu ihrer Prüfung werden einige einfache Experimente angestellt, die mit geringen Mitteln schnell Klarheit über die Zweckmäßigkeit der Grundanschauung verleihen, und mit einem Schlage erscheint das ganze Gebiet in einem neuen Lichte. Natürlich ist eine derartige Arbeitsmethode nur in den Händen eines Mannes fruchtbar, der die Zusammenhänge im voraus richtig zu *erschauen* vermag.

Das folgende Inhaltsverzeichnis gibt einen Begriff von der Vielseitigkeit und Reichhaltigkeit des im Institut in Angriff genommenen Arbeitsprogrammes:

Brüchigwerden von mit Aluminium verunreinigtem Zinn. Von *E. Heyn* und *E. Wetzel.*

Veredelungsversuche mit magnesiumhaltigem Aluminium. Von *E. Heyn* und *E. Wetzel.*

Messung kleiner Längenänderungen an abgeschrecktem Duralumin sowie an einer Zinnaluminium-Legierung mittels Martensschen Spiegelapparates. Von *E. Heyn* und *E. Wetzel.*

Einiges über die Wärmebehandlung und die Rekristallisation des Aluminiums. Von *E. Wetzel.*

Der Arbeitsverbrauch bei oftmals wiederholter Zugbeanspruchung von Eisen und Kupfer bei verschiedenen Temperaturen. Von *W. Mauksch.*

Studien über die chlorierenden Röstprozesse. I. Das System Kupfersulfür-Rohsalz. Von *V. Tafel.*

Die Selbstkostenberechnung der Metallhütten. Von *V. Tafel.*

In der ersten Arbeit wird gezeigt, daß ein Gehalt von 0,25 Aluminium bereits zur Zerstörung von gewalztem Zinn durch Korrosion führt. Zusatz von Blei (bis 10 %) beeinflußt die Erscheinung nicht, Zusatz von etwa 2 % Kupfer beseitigt die schädliche Wirkung des Aluminiums ziemlich vollständig.

Die zweite Arbeit betrifft ein Material, das als Aludur oder Hartaluminium bezeichnet wird, und über dessen Eigenschaften und Herstellungsweise bisher eine große Unklarheit bestand. Es wird überzeugend gezeigt, daß dieses etwa 0,5 % Magnesium enthaltende Material sich nach der in den betreffenden Patenten angegebenen Methode nicht in den Zustand überführen läßt, in dem es von der herstellenden Firma geliefert wird, sondern daß hierzu noch eine Behandlung notwendig ist wie diejenige, die zur Vergütung des Duralumins führt, das heißt eine Erhitzung auf ca. 520 ° mit darauffolgendem Abschrecken und Lagern sowie einer geringen nachträglichen Kaltreckung.

(Nach den Ergebnissen der englischen Arbeit von *Hansen* und *Gayler*, über die in dieser Zeitschrift in dem vorigen Jahre bereits berichtet wurde, dürfte es sicher sein, daß die Vergütungsfähigkeit des magnesiumhaltigen Aludurs auf eine gleichzeitige Anwesenheit von Silicium, das im technischen Aluminium niemals fehlt, zurückzuführen ist.)

In der folgenden Arbeit werden Präzisionsmessungen der Längenänderungen bei der Vergütung des Duralumins und beim Lagern der in der ersten Arbeit behandelten Zinn-Aluminium-Legierungen mitgeteilt. Der Nachweis der geringen (weniger als 0,01 %) Längenänderungen bei dem Duralumin ist von hohem Interesse für die Theorie des Vergütungsvorganges. Die theoretische Verwertung dieser Versuche steht noch aus.

Die (zum Teil noch unter der Leitung von *Heyn* ausgeführte) Arbeit von *Wetzel* über die Rekristallisation des Aluminiums, die eine Reihe interessanter Erscheinungen bringt, entzieht sich einer kurzen Wiedergabe.

Die Arbeit von *Mauksch* behandelt den mit der elastischen Nachwirkung verknüpften Arbeitsverbrauch bei wiederholten wechselnden Belastungen, und zwar im Anschluß an die Heynsche Theorie der Verfestigung. Die interessant angelegte Arbeit läßt leider den theoretischen Abschluß noch vermissen. Ihre praktische Bedeutung liegt auf dem Gebiete der Ermüdungserscheinungen bei wechselnden Belastungen.

In der Arbeit von *Tafel* werden Versuche über chlorierende Röstprozesse, und zwar in einer systematischen, von einer unmittelbaren Anlehnung an die Praxis zunächst unabhängigen Weise aufgenommen. Es wird gezeigt, daß beim Erhitzen eines Gemenges von einem Teil Kupfersulfür mit 4 Teilen Natrium- und Kaliumchlorid an der Luft bei 250—375° über ein Drittel des Kupfers in wasserlösliche und der Rest in säurelösliche Form übergeführt wird.

G. Masing, Berlin.

Schneiderhöhn, H., Anleitung zur mikroskopischen Bestimmung und Untersuchung von Erzen und Aufbereitungsprodukten, besonders im auffallenden Licht. Berlin, Selbstverlag der Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute e. V., 1922. XV, 291 S., 154 Abbildungen und 1 Anhang. 18 × 26 cm.

Während die mikroskopische Untersuchung von durchsichtigen Mineralien im durchfallenden Licht an Dünnschliffen, insbesondere bei Anwendung von polarisiertem Licht, seit längerer Zeit bis zu einer großen Vollkommenheit entwickelt worden ist, ist die mineralogische Untersuchung von undurchsichtigen, soge-

nannten *opaken* Mineralien stark zurückgeblieben. Hier hat es anscheinend der Anregung durch die wesensverwandte mikroskopische Praxis des Metallographen bedurft, um durch Übertragung und zweckmäßige Modifikation der metallographischen Untersuchungsweise eine geeignete Methodik auszugestalten.

Das Buch von *Schneiderhöhn* faßt allerdings ein umfangreicheres Problem an, nämlich, alle Methoden, auch die gröberen, die für die praktische Prüfung von Erzen und Lagerstätten in Frage kommen, systematisch zu entwickeln. So wird der Leser in demselben wohl alle Verfahren kurz beschrieben finden, die auf diesem Gebiet in Frage kommen. Der Schwerpunkt des Interesses liegt jedoch zweifellos auf der mikroskopischen Untersuchung der geätzten oder ungeätzten polierten Anschliffe, die durch eine Reihe von feineren Beobachtungen und indirekten Schlüssen zum Teil recht weitgehende Folgerungen über die Entstehung und Geschichte der Mineralien gestatten. Im zweiten Teil des Buches bringt der Verfasser neben der Beschreibung zahlreicher Mineralien auch eine große Anzahl sehr schöner und lehrreicher Mikrophotographien.

Neben der methodischen Anleitung enthält das Buch von *Schneiderhöhn* somit auch reichhaltiges experimentelles Material. Wenn die Verknüpfung dieser verschiedenartigen Bestandteile innerhalb des vorgesteckten Rahmens dem berechtigten Bestreben entspringt, dem Leser sowohl die Kenntnis der Methoden als des Tatsachenmaterial dieses neuen Gebietes der „Chalkographie" zu vermitteln, so erhält das Ganze dadurch andererseits einen weniger abgeschlossenen, fragmentarischen Charakter. Man ist auch deshalb oft im Zweifel, ob ein Betriebspraktiker oder ein Wissenschaftler als Leser gedacht wird. Manche methodischen Angaben sind recht elementar, sind aber andererseits nicht mit einer genügenden Beharrlichkeit und Konsequenz durchgeführt, um dem theoretisch Unvorbereiteten ein volles Verständnis zu sichern. Die mitgeteilten Mikrophotogramme erfordern andererseits einen erheblichen theoretischen Einblick. Für das Material, das es umfaßt, ist das Buch zu kurz. Es würde gewinnen, wen es in einen ausführlichen praktisch-methodischen für Praktiker und einen systematischen beschreibenden und theoretischen Teil für Wissenschaftler geteilt würde. Ersparnisrücksichten dürften dem im Wege gestanden haben. Der Unterzeichnete hätte es deshalb begrüßt, wenn das beinahe als Prachtausgabe ausgestattete Werk bei einer einfacheren Ausstattung (außer den Mikrophotogrammen, die nicht gut genug sein können) in einer bescheideneren Ausgabe erschienen, aber dafür ausführlicher geschrieben wäre.

Das wissenschaftlich-sachliche Interesse konzentriert sich in der Hauptsache auf die wiedergegebenen Mikrophotogramme. Einen besonderen Reiz erhält die Untersuchung der Erze durch ihre Beziehung zur metallographischen Erfahrung, auf die der Verfasser in einem im September d. J. in der Hauptversammlung der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft in Leipzig gehaltenen Vortrag besonders hingewiesen hat. Zwischen den Kristallaggregaten der Metalle und der Erze besteht zunächst gar kein prinzipieller Unterschied, und wir dürfen deshalb die Bilder der letzteren mit derselben Brille wie die der ersteren lesen. Wie wir dem Schliff eines Metallkörpers oft ansehen können, ob er direkt aus dem Schmelzfluß erstarrt ist oder auf dem Wege der *Rekristallisation* seine gegenwärtige Struktur erhalten hat, ob er deformiert worden ist oder nicht und unter welchen Bedingungen, so ziehen wir auch bei Mineralien aus ähnlichen Beobachtungen ähnliche Schlüsse über ihre Vorgeschichte. Die Kunst, die Struktur der Mineralien in *diesem* Sinne zu lesen, steckt wohl noch in ihren Anfängen und verspricht eine ebenso reizvolle wie fruchtbare Entwicklung. Die Metallkunde wird hierbei nicht nur in dem Sinne der zufälligen Darbietung ihrer mikroskopischen Methodik, sondern noch in einer viel weitergehenden Weise befruchtend wirken können. Dank der großen Plastizität der Metalle sind wir in der Lage, an denselben die mannigfaltigsten Deformationen vorzunehmen, deren Spuren wir auch an Mineralien wahrnehmen. Bei diesen konnten diese Deformationen jedoch nur als säkuläre Vorgänge unter ganz bestimmten, meistens dem Experiment nicht zugänglichen Bedingungen stattfinden. Bei dem Versuch ihrer Wiederholung am Laboratoriumstisch würde man das Mineral meistens einfach zertrümmern. Die Metalle bieten nun die geeigneten Versuchsobjekte, an denen wir derartige Nachahmungen der Naturprozesse leicht durchführen können. Damit bietet die Metallkunde aber im erwähnten Sinne die Möglichkeit einer wesentlichen Bereicherung der mineralogischen Forschungsmethoden.

Das Material der Photogramme, das unseren Wissens zum ersten Male geboten wird und das wir als den wertvollsten Bestandteil des Buches betrachten möchten, bietet eine derartige Fülle des Neuen und Anregenden, daß ein eingehendes Studium nicht nur jedem mineralogisch, sondern allgemeiner auch metallographisch Interessierten dringend zu empfehlen ist. *G. Masing, Berlin.*

Föppl, A., Vorlesungen über technische Mechanik. 4. Auflage. Band *V*. Die wichtigsten Lehren der Elektrizitätstheorie. XII, 372 S. u. 44 Abbild. Bd. *VI*. Die wichtigsten Lehren der höheren Dynamik. XII, 456 S. u. 33 Abbild. Leipzig und Berlin, B. G. Teubner, 1921/22. 14 × 22 cm.

Die Neuauflage des 5. und 6. Bandes der Föpplschen Mechanik bietet Gelegenheit zu dem Hinweis, daß dieses Werk von unbestreitbar hervorragenden didaktischen Eigenschaften zwar zunächst nur für den Ingenieur geschrieben, aber auch für den Mathematiker und Physiker und überhaupt für jeden lesenswert ist, der in die Mechanik von praktischen Gesichtspunkten aus eingeführt werden will.

Die Bezeichnung *technische* Mechanik hat ihre historische Berechtigung, es dürfte aber einmal ausgesprochen werden, daß sie allmählich zu eng geworden ist für das, was in den so betitelten Lehrbüchern abgehandelt zu werden pflegt, und was eigentlich *angewandte* Mechanik heißen solte. Daß viele dieser Anwendungen auf dem Gebiete der Technik liegen, ist ganz natürlich in Anbetracht des Umstandes, daß Technik überhaupt zu einem großen Teil Anwendung der Mechanik ist. Stellt man daneben die sogenannte theoretische oder klassische Mechanik als die Lehre von den Prinzipien der Mechanik, so ergibt sich die Forderung, daß die Mechanik als rationelle Wissenschaft durchaus nicht mehr ohne Rücksicht auf die Anwendungen vorgetragen werden kann, wenn sie nicht zu einem fast leblosen und jedenfalls kaum mehr entwicklungsfähigen Gebilde, wie es die klassische Mechanik vielfach schon geworden ist, erstarren soll. Es ist nicht schwer, vorauszusagen, daß in kurzer Zeit das, was wir heute technische Mechanik nennen, den Grundstock *der* Mechanik schlechtweg darstellen wird, wobei auch die Prinzipe keineswegs zu kurz kommen müssen. Man scheut

sich schon heute nicht mehr davor, beispielsweise die Lagrangeschen Gleichungen zweiter Art oder das Hamiltonsche Prinzip zur Lösung „technischer" Aufgaben heranzuziehen (vgl. die äußerst klare Entwicklung dieser Prinzipe im 6. Band). Als ein nicht bloß äußerliches Zeichen dieser Virulenz der technischen Mechanik im Gegensatz zur klassischen Mechanik möchte ich einerseits die mehr und mehr sich einbürgernde, in Deutschland namentlich durch die Föpplschen Bücher geförderte vektorielle Denkweise — nicht bloß Schreibweise — ansehen (welche ihren vielleicht sinnfälligsten Ausdruck in der ganz elementaren, fast trivial kurzen und immer anschaulich bleibenden Herleitung der Eulerschen Gleichungen für die Drehung eines starren Körpers findet), andererseits die Reichhaltigkeit der Probleme, welche sich der Anwendung von allen Seiten anbieten, wieder in starkem Gegensatz zu den meisten Darstellungen der klassischen Mechanik mit ihren immer gleichen und zudem oft recht dürftigen Beispielen. Die technische Mechanik hat der Mechanik so viele neue Provinzen erschlossen, daß das ursprüngliche Mutterland, die Himmelsmechanik, heute selbst nur noch als kleine Provinz erscheint; und so wird, wer das Reich der Mechanik kennen lernen will, künftig das Studium der technischen Mechanik nicht mehr umgehen können. Das Föpplsche Werk kann den Anspruch erheben, ein vorzüglicher Wegweiser für ein solches Studium geworden zu sein.

R. Grammel, Stuttgart.

Müller, C. H., und **G. Prange, Allgemeine Mechanik.** Hannover, Helwingsche Buchhandlung, 1923. X, 551 S. und 113 Fig.

„Eine Einführung für Studierende der Natur- und Ingenieurwissenschaften" nennen die Verfasser ihr Werk. Dieser Zweck hat die Darstellungsweise entscheidend bestimmt. Es wird an Mathematik nicht mehr vorausgesetzt, als die einführenden Vorlesungen der Hochschulen übermitteln, ja die grundlegenden mathematischen Begriffe werden bei Gelegenheit ihrer Anwendung nochmals anschaulich entwickelt. Die mathematischen Ableitungen werden ausführlich gegeben, so daß der Leser in dieser Hinsicht keine Schwierigkeiten finden kann; dennoch drängt sich die rein formale Darstellung nirgends in den Vordergrund, die Rechnung erscheint nie losgelöst vom physikalischen Gedankengang, sondern stets als quantitative Fassung einer physikalischen Aussage. Die Darstellung ist daher in hervorragender Weise geeignet, um den Studierenden in die Anwendung der Mathematik auf Natur- und Ingenieurwissenschaften einzuführen.

Was den Inhalt anlangt, so ist der Untertitel doch wohl zu bescheiden; denn die Fülle des Gebotenen geht weit über die Bedürfnisse der Studierenden hinaus und macht das Werk gerade auch für den ausgebildeten Ingenieur oder Naturforscher besonders anregend. Von dem allgemeinen Lehrgang aus, welcher den allen Anwendungen zugrunde liegenden Kern der mechanischen Ideen entwickelt, wird in alle Gebiete der Anwendungen gründlich hineingeleuchtet. Da finden sich ausführliche Darlegungen astronomischer Rechenmethoden (Störungstheorie), gründliche Überblicke über Ingenieurfragen, wie Massenausgleich, kritische Drehzahlen usw., interessante historische Hinweise und vor allem tiefgehende Auseinandersetzungen über den Ausbau der Mechanik in der modernen Physik. Die Relativitätstheorie hat auf die formalen Darlegungen weitgehenden Einfluß geübt; schon in der Kinematik taucht der „Weltbegriff" auf; an allen geeigneten Stellen wird gezeigt, wie sich die Auffassungen durch die allgemeine Relativitätstheorie fortgebildet haben. Die Schwierigkeiten des 3. Newtonschen Axioms in der elektromagnetischen Strahlungstheorie werden behandelt, die Quantenmechanik wird an vielen Stellen erläutert, und die Atommodelle spielen bei den Beispielen eine führende Rolle.

Der vorliegende Band umfaßt Kinematik, Bewegung des Massenpunktes, geführte Bewegung und Relativbewegung, Bewegungsgleichungen der Massenpunktsysteme und des starren Körpers und gipfelt in der systematischen Auseinandersetzung der Differentialprinzipien. Einem weiteren Band über Systeme von mehreren Freiheitsgraden unter Voranstellung der Integral- und Variationsprinzipien, den die Verfasser in der Einleitung ankündigen, kann man mit Spannung entgegensehen.

L. Hopf, Aachen.

Exner, Franz, Vorlesungen über die Physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften. 2. vermehrte Auflage. Leipzig und Wien, Franz Deuticke, 1922. XX, 734 S. und 97 Abbildungen im Text.

Der ersten Auflage von *Exners* „Vorlesungen", deren ausführliche Würdigung sich in den „Naturwissenschaften" *9*, S. 414„ 1921, findet, hat schon nach wenigen Monaten die zweite folgen dürfen. Ein Beweis, daß sich das Leserpublikum dem günstigen Urteil des damaligen Referenten angeschlossen hat. Ein Eingehen auf Einzelheiten erübrigt sich daher. Es sei nur bemerkt, daß das Vorwort der neuen Auflage eine Auseinandersetzung mit *Spenglers* Buch „Der Untergang des Abendlandes" enthält. Verf. vertritt in einer eindringlich und auch für den Nichtfachmann verständlichen Weise den Objektivismus des exakten Naturforschers gegenüber der subjektivistischen Weltanschauung *Spenglers*. Es verdient hervorgehoben zu werden, daß *Exner* — eben als Physiker — objektiv genug ist, trotz aller Kritik das Werk *Spenglers* „mit seiner Fülle origineller Ideen und fesselnder Anregungen" mit Freude zu begrüßen.

Es ist zu wünschen und zu erwarten, daß die neue Auflage ebenso schnell ihren Weg zu ihren Lesern finden wird, wie ihre Vorgängerin.

W. Westphal, Berlin.

Sitzungsberichte der Deutschen Geologischen Gesellschaft.

Sitzung am Mittwoch, den 6. Dezember 1922.

Herr *H. Cloos* (Breslau) sprach über **die Tiefengesteine des Bayrischen Waldes und den Pfahl.** Der Redner ging von den Begriffen Batholith und Lakkolith aus. Unter ersterem versteht man ein in der Tiefe erstarrtes Eruptivgestein, das sich seinen Raum ohne Rücksicht auf das Nebengestein geschaffen hat, an dem also die etwa vorhandenen Sedimentgesteine in ungleichförmiger Lagerung abstoßen. Unter einem Lakkolithen hingegen versteht man eine eingepreßte Tiefengesteinsmasse, die sich in die Schichtfugen der Gesteine ergossen hat, die Sedimente teils hebend, teils aufblätternd. Während nun bei den Lakkolithen die Frage der Raumbildung keine unlösbaren Rätsel zu bilden scheint, ist bei den Batholithen diese Frage noch in großes Dunkel gehüllt. Jedenfalls weiß man, daß eine Aufnahme des verdrängten Gesteins durch Aufschmelzung durch das Magma nur unter ganz besonderen

Voraussetzungen in Frage kommen kann. In der Regel weisen ja die unserer Beobachtung zugänglichen Teile des Batholithen nur unbedeutende Veränderungen ihres chemischen Bestandes auf, die auf Aufnahme fremder Gesteine zurückzuführen wären.

Der Redner hat im letzten Sommer mit einer Reihe seiner Schüler diese und ähnliche Fragen im Bayrischen Walde der Lösung näher zu führen versucht, indem er die Lagerungsform der dortigen Granitstöcke untersuchte, um dadurch ihre Form und Raumbildung zu erklären. Zunächst konnte er feststellen, daß die Ansicht *Gümbels* über das Vorhandensein eines großen Granitmassivs zwischen der Donau und dem Pfahl nicht ganz zutrifft. Neben zwei größeren Massiven kommt eine Unzahl kleinerer vor. Diese waren zunächst Gegenstand der Untersuchung. Dabei ergab es sich, daß diese Einzelvorkommen oft von geringer Mächtigkeit sind, bis zu wenigen Metern herab. In der Nähe des Pfahles, also im nordöstlichen Gebietsanteil, haben sie ein diesem gleichgerichtetes Einfallen, also mit 70—80° nach Nordosten. Hier sind sie auch dem Nebengestein scheinbar konkordant eingeschaltet, das in der Nähe des Pfahles aus dioritischen und syenitischen Gneisen besteht. Mit zunehmender Entfernung vom Pfahl behält zwar das Nebengestein sein gleichgerichtetes Einfallen nach Nordosten; indessen gewinnen die Granitintrusionen eine zunehmend flachere Lagerung, so daß sie schließlich in der Nähe des Südwestrandes des Gebietes fast flach liegen. Von besonderem Interesse ist nun, daß diese flach liegenden Granitintrusionen die an ihnen abschneidenden Schichten des Hangenden und Liegenden nicht verwerfen. So fand beispielsweise ein den kristallinen Schiefern konkordant eingelagertes Graphitlager bei Passau, das nach unten durch einen Granitstock begrenzt schien, im Liegenden des Granites, nachdem man nach etwa 20 m diesen durchteuft hatte, seine unmittelbare Fortsetzung. Schließlich ergab sich aus einer Fülle von Einzelbeobachtungen das Bild, daß die kleinen Granitvorkommen sämtlich geringmächtige, im SW flach gelagerte, aber mit zunehmender Annäherung an den Pfahl nach diesem konvergierende Intrusionen darstellen, die sich längs flach verlaufender Klüfte ihren Weg durch das Gestein gebahnt haben.

Damit nicht genug, stellte sich auch bei der Untersuchung der großen Massive heraus, daß es sich auch bei ihnen nicht um mächtige Stöcke handelt. Die im Südwesten in die Massive eingeschnittenen Täler haben hier weithin die Unterlage des Granites entblößt. Im Zusammenhang mit anderen Beobachtungen geht daraus hervor, daß auch diese größeren Granitvorkommen ebenso wie die kleinen einen deckenartigen Charakter tragen, daß sie zungenartig von Nordosten nach Südwesten sich erstrecken. Lediglich hinsichtlich ihrer Größenordnung besteht also zwischen den verschiedenen Granitvorkommen ein Unterschied.

Als Ausbruchsstelle aller dieser Granite ist die Pfahlregion anzusehen. Auf dieser nach NO geneigten Spalte drang das Magma hoch, um dann in südwestlicher Richtung in die kristallinen Schiefer einzutreten, in denen es, je weiter es sich von der Ausbruchsspalte entfernte, eine um so flachere Neigung annahm.

Bei dieser Form und Entstehungsart sind diese Batholithe des Bayrischen Waldes also nicht grundsätzlich verschieden von den Lakkolithen; man könnte sie als „diskordante Lakkolithen" bezeichnen.

Weiter sprachen die Herren *Fliegel* und *Dahlgrün* über **die geologische Neuaufnahme des Harzes** bzw. über **graptolithenführende Schichten des Unterharzes.**

Eine der wichtigsten Fragen im geologischen Bau des Harzes überhaupt und des Unterharzes im besonderen ist die nach der Tatsächlichkeit der sog. „Tanner Achse"; oder mit anderen Worten ausgedrückt: Gibt es im Unterharz eine solche bedeutsame Sattelachse, wie sie seinerzeit *Lossen* in der Linie Lauterberg-Gernrode angenommen hat?

Die Beantwortung dieser Frage hängt scheinbar auf das innigste mit der Antwort auf eine zweite Frage zusammen; das ist die Frage nach der stratigraphischen Stellung der Tanner Grauwacke. Unter diesem Gestein werden in der Hauptsache eine Arkosegrauwacke und ein Plattenschiefer verstanden, die von einer ganzen Anzahl älterer Forscher ins Silur gestellt worden sind. Ist diese Ansicht richtig, so auch die Auffassung von dem Vorhandensein einer Sattelachse. Indessen sind neuerdings berechtigte Zweifel an dieser Stellung der Tanner Grauwacke aufgetaucht. Nachdem es heute möglich geworden ist, die in diesem Gestein auftretenden Pflanzenreste mit einiger Sicherheit dem Kulm zuzurechnen, ihnen aber keinesfalls ein voroberdevonisches Alter zuweisen darf, ist die oben angeschnittene Frage hinsichtlich dieses Gesteins entschieden, und man kann künftig keinesfalls aus dem Auftreten der Tanner Grauwacke auf die Existenz einer Sattelachse schließen. Nun hat sich aber bei der neuerlichen Untersuchung der die Tanner Grauwacke begleitenden Tonschiefer (Plattenschiefer) gezeigt, daß unter diesen Schiefern sich recht verschiedenaltrige Gesteine, z. T. auch unterdevonischen Alters, verbergen. Mit diesen unterdevonischen Schiefern wiederum wird der Anschluß gewonnen an die in der Nachbarschaft auftretenden Graptolithen führenden Gesteine.

Die letzten Untersuchungen des zweiten Redners in der Gegend von Harzgerode insbesondere haben gezeigt, daß das Obersilur hier in viel ausgedehnterem Maße und in größerem Zusammenhang der Graptolithenzonen auftritt, als bisher bekannt war.

Es ergibt sich also die bemerkenswerte Folgerung, daß diejenigen Schichten, die nach den älteren Anschauungen *Lossens* in der Hauptsache die Unterharzer Sattelachse aufbauen sollten, nämlich die Tanner Grauwacke, heute in ihrem wesentlichen Anteil zum Kulm und damit zu den jüngsten paläozoischen Schichtgliedern gerechnet werden müssen. Andererseits treten aber in ihrer Nachbarschaft gerade die erwähnten, in großer Vollständigkeit jetzt bekannten Schichten des Obersilurs auf. Dadurch wird die aufgeworfene Frage nach der Wirklichkeit der Unterharzer Sattelachse wiederum bejaht, wenn auch in anderem Sinne, als *Lossen* sich vorstellte. *W. K.*

Biologische Gesellschaft zu Leipzig.

Sitzung vom 12. Dezember 1922.

Vors.: Herr *Ruhland*. Schriftführer: i. V. Herr *Michael*.

W. Spaltholz: **Gefäßbaum und Organbildung.**

Die Art der ersten Aufzweigung der Blutgefäße ist bei den Wirbeltieren ganz allgemein von der Form der Organanlage abhängig. Sie ist eine andere bei den Organen, welche sich aus geschlossenen, soliden Zellmassen entwickeln, eine andere bei denjenigen, die in ihrer frühesten Form die Gestalt einer Hohlröhre besitzen.

Zur ersten Gruppe von Organen gehören die

Skelettmuskeln, die Stützorgane, die lymphoiden Organe, die Nebennieren und die Drüsen; der zweiten Gruppe sind zuzurechnen die nervösen Zentralorgane, der Darmtraktus, die Luftröhre, die Harnableitungswege, die weiblichen Genitalwege und das Herz.

Bei allen röhrenförmig angelegten Organen treten die ersten Blutgefäße an der Außenseite des Organes flächenhaft auf. Dabei ist die Geschwindigkeit, mit welcher diese Ausbreitung erfolgt, die Dichtigkeit der Gefäßaufzweigung und ihre Vollständigkeit für die verschiedenen Organe und selbst für einzelne Abschnitte desselben Organes durchaus verschieden; sie steht offenbar in Abhängigkeit von der Entwicklungsenergie der Organe und ihrer Teile und von den Bedürfnissen ihres Stoffwechsels. Erst in einer zweiten Phase der Entwicklung gehen von der flächenhaften Gefäßausbreitung dann Ästchen annähernd senkrecht in die Tiefe.

Da die weitere Entwicklung der Organe nicht in allen Schichten gleichmäßig nach den drei Dimensionen abläuft, kann auch die Gefäßaufzweigung nicht die primäre einfache Form und Lage beibehalten: es werden einzelne Äste besonders stark werden, neuartige auftreten, andere werden im Wachstum zurückbleiben oder verschwinden und manche werden schließlich Verlagerungen erleiden. Daraus ist es verständlich, daß an den erwachsenen Organen dieser Gruppe die ursprüngliche Verzweigungsform kaum jemals unverändert erhalten ist; sie ist stets verändert, manchmal nur verschleiert, bisweilen aber so verwischt, daß nur eine genaue Verfolgung ihrer Entwicklung Aufklärung gibt.

Bei der anderen Gruppe von Organen, das heißt bei denjenigen, deren Anlage die Form einer geschlossenen soliden Zellmasse besitzt, dringen die ersten Blutgefäße unmittelbar in das Innere ein und verzweigen sich dort baumartig nach allen Seiten gleichmäßig. Auch bei ihnen bleibt während der weiteren Entwicklung die ursprüngliche Form des „primären Gefäßbaumes" nicht genau erhalten. Im allgemeinen erleidet aber die Gefäßaufzweigung während des Wachstums nicht so große Veränderungen wie bei der anderen.

Die Ursache für die Art der frühesten Gefäßaufzweigung ist nur in der Form der Organanlage begründet, also rein *formal*.

Mit der Form der Gefäßanlage ist der *Grundplan* der Gefäßverteilung gegeben. Wie sich innerhalb desselben die einzelnen Gefäße in bezug auf Richtung, Stärke usw. verhalten, wie sie sich während der weiteren Entwicklung umgestalten, unterliegt den Bedingungen, die durch die Kräfte des strömenden Blutes usw. gegeben sind.

Zuerst nur durch rein formale Verhältnisse bedingt, wird die Art der Gefäßaufzweigung später wesentlich beeinflußt und umgemodelt durch die im und am Organ wirksamen lebendigen Kräfte.

Jede der beiden Arten der Gefäßaufzweigung stellt für die Organanlage im betreffenden Moment das Optimum der Ernährung dar. Es handelt sich jedesmal um *die günstigste Verteilungsform im gegebenen Raume*.

Mit dem entwickelten *angiogenetischen Grundgesetz* wird für einen engumgrenzten Teil der Entwicklung eine einfache Beziehung zwischen Ursache und Wirkung aufgestellt, die nicht auf Lebensvorgängen beruht.

(Näheres siehe Archiv f. Entwicklungsmechanik von *Roux*, Bd. *52*.) *Eigenbericht.*

Zur Diskussion sprach Herr *Garten*.

* * *

Sitzung vom 16. Januar 1923,

zu der auch die Medizinische Gesellschaft geladen war.

Prof. Dr. *Eber*: **Über neue im Veterinärinstitut der Universität Leipzig (Prof. Dr. Eber) und im Reichsgesundheitsamte (Oberregierungsrat Prof. Dr. Lange) durchgeführte Passageversuche mit vom Menschen stammendem Tuberkulosematerial. Ein Beitrag zur Frage der Typenumwandlung der Tuberkelbazillen.**

Der Vortragende gab zunächst einen kurzen *historischen Überblick* über den Stand der *Frage der Typenumwandlung der Tuberkelbazillen* und besprach im Anschluß hieran auch kurz die seit Frühjahr 1903 im Veterinärinstitut der Universität Leipzig durchgeführten eingehenden Untersuchungen über die *Beziehungen zwischen Menschen- und Rindertuberkulose*, über die der Vortragende wiederholt, zuletzt in den Jahren 1911 und 1913, berichtet[1]) hat. Aus diesen Darlegungen geht hervor, daß es bei den Leipziger Versuchen in einer *beschränkten* Zahl von Fällen gelungen ist, durch eine besondere Methode (*gleichzeitige subkutane und intraperitoneale Verimpfung des tuberkulösen Materials* — am besten zerriebener Meerschweinchenorgane — *auf junge Rinder*) *humane* Tuberkelbazillen in *bovine* umzuwandeln. Als interessanten weiteren Befund haben diese Versuche ergeben, daß auch in solchen Fällen, in denen eine Typenumwandlung *nicht* gelang, doch wiederholt ein *vorübergehendes „Haften" des ursprünglich humanen Materials in der Bauchhöhle der Versuchstiere* beobachtet werden konnte. Auf Anregung *R. Kochs* sind diese Versuche im Jahre 1911 im Kaiserlichen Gesundheitsamte in Berlin nachgeprüft. Wie *Neufeld, Dold* und *Lindemann*[2]) berichten, ist bei diesen Versuchen die *Umwandlung* humaner Tuberkelbazillen in bovine *nicht* gelungen, auch wurde bei 13 Rinderimpfungen *niemals* ein *„Haften"* des tuberkulösen Materials *in der Bauchhöhle* erzielt. Dieser Widerspruch in den beiderseitigen Versuchsergebnissen wurde später dadurch einigermaßen aufgeklärt, *daß die gewählte Versuchsanordnung in Berlin nicht in allen Punkten strikte der in Leipzig geübten entsprochen hat*[3]). Es wurde daher im Januar 1913 zur Prüfung der Umwandlungsfrage eine *neue große Versuchsreihe durch das Kaiserliche Gesundheitsamt und das Veterinärinstitut gemeinsam* unternommen. Leider ist die Durchführung dieser Versuche durch den Krieg stark beeinträchtigt. Da zurzeit keine Möglichkeit besteht, die nur mit großen Versuchstieren durchzuführenden Versuche wieder aufzunehmen, ist die Veröffentlichung der Ergebnisse beschlossen, obwohl sie eine *endgültige Lösung* des Problems der Typenumwandlung *nicht* gebracht haben. Sie haben aber gezeigt, daß die für die Typenumwandlung bisher benutzten biologischen Unterscheidungsmerkmale (Wachstum der frisch aus dem Tierkörper gezüchteten Reinkulturen auf Glyzerinbouillon, Verhalten bei Kaninchen- und Rinderimpfungen) mit Hilfe der angewandten Methodik in einzelnen Fällen im Sinne einer *Annäherung der beiden Säugetiertuberkelbazillentypen* beeinflußt werden konnten.

Der Vortragende erläuterte eingehend an der Hand zahlreicher Präparate und Tabellen das gesamte für die Schlußfolgerungen maßgebende Tatsachenmaterial. Die Abhandlung wird in *Brauers* Beiträgen zur Klinik der Tuberkulose Bd. *54* veröffentlicht. *Eigenbericht.*

---

[1]) Zbl. f. Bakt. I. Abt. Orig. 1911, Bd. *59*, S. 193; 1913, Bd. *70*, S. 229.

[2]) Zbl. f. Bakt. I. Abt. Orig. 1912, Bd. *65*, S. 467.

[3]) Zbl. f. Bakt. I. Abt. Orig. 1913, Bd. *70*, S. 230

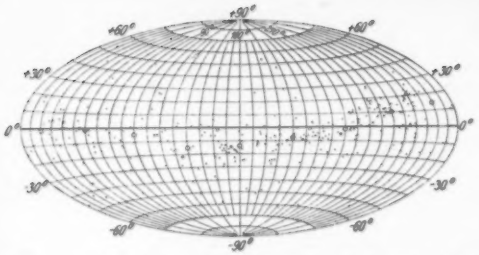


Fig. 1. Galaktische Verteilung der B-Sterne heller als 5,26.

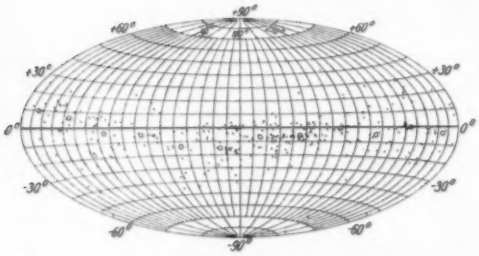


Fig. 2. Galaktische Verteilung der B-Sterne zwischen 5,26 und 6,25.

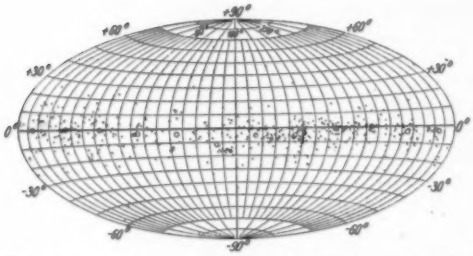


Fig. 3. Galaktische Verteilung der B-Sterne zwischen 6,26 und 7,25.

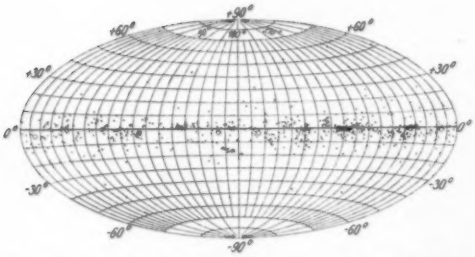


Fig. 4. Galaktische Verteilung der B-Sterne zwischen 7,26 und 8,25.

Astronomische Mitteilungen.

Die scheinbare Verteilung der Heliumsterne machen *Shapley* und Miß *Cannon* zum Gegenstand einer Untersuchung in Harvard Circular 239. Zugrunde liegen die Angaben des inzwischen erschienenen Henry-Draper-Katalogs. Während man bisher zu der Ansicht neigte, daß es *B*-Sterne schwächer als 7. Größe nicht gebe, hat die Harvard-Klassifikation gezeigt, daß diese Ansicht nicht begründet ist und nur aufkommen konnte, weil die helleren B-Sterne fast ausschließlich im sogen. „local system" vorkommen und sich dadurch der Beobachtung vor allem aufdrängen. Daneben existiert eine ganze Fülle schwächerer B-Sterne, die sich in einem schmalen Gürtel längs der Milchstraße zusammenzudrängen scheinen, damit ihre Zugehörigkeit zum größeren galaktischen System dokumentierend. Da die beigegebenen Figuren sehr instruktiv sind, reproduzieren wir sie hier im verkleinerten Maßstab.

Die Punkte stellen die einzelnen Sterne dar, die offenen Kreise die mittleren galaktischen Breiten. Man erkennt deutlich, daß der Gürtel der helleren *B*-Sterne gegen die Milchstraße geneigt ist und sie etwa in 90° und 270° galaktischer Länge schneidet, während der Gürtel der schwachen B-Sterne vollkommen mit der Milchstraße zusammenfällt. Die dazwischen liegenden beiden Figuren vermitteln den Übergang.

Auffallend ist die ungleichförmige Verteilung in galaktischer Länge, wie aus den folgenden Zahlen ersichtlich ist, welche durch Zusammenfassung der letzten drei Gruppen *Shapleys* (Sterne zwischen 5,26 und 8,25 scheinbarer Größe) erhalten wurden.

Gal. Länge	15°	45°	75°	105°	135°	165°
Anzahl	82	127	132	94	86	161
Gal. Länge	195°	225°	255°	285°	315°	345°
Anzahl	150	225	209	135	157	92

Man erkennt deutlich zwei Maxima — bei 60° und 240° — und zwei Minima — bei 0° und 120° —, wobei es dahingestellt bleiben muß, inwieweit dieser unregelmäßigen scheinbaren Verteilung eine ebensolche räumliche Verteilung entspricht oder ob wir es hier mit der Wirkung von dunkler vorgelagerter Materie zu tun haben.

In einer besonderen Tabelle sind getrennt alle jene B-Sterne aufgeführt, welche größere galaktische Breiten als $\pm 50°$ aufweisen. Es sind deren 28, also ein verschwindender Prozentsatz gegenüber der Gesamtzahl = 1996. *H. Kienle.*

Berichtigung.

In dem Aufsatz von *Lasareff* (*10*, 1123, 1922) muß es heißen:

Seite 1124 Fig. 1 statt A: B, statt B: A.

Seite 1127 Tabelle (letzte Zeile)

nicht 0,030 | 1,01 | 1,09 sondern 0,030 | 1,01 | 1,03

Seite 1127 in der ersten Zeile unter

$$\Delta E = \Delta J \int_0^a \frac{\varphi\,(\alpha)\,\mathrm{d}\,\alpha}{J+\alpha}$$

nicht: wo $J\,\alpha$ das Eigenlicht der Netzhaut ist.
sondern: wo α das Eigenlicht der Netzhaut ist.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: *Dr.-Ing. e. h. Dr. Arnold Berliner*, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann & Co. in Berlin SW